

मराठी

# माध्यमिक भौतिकी

(Intermediate Physics)

लेखक

विश्वनाथ नारायण थत्ते, बी. एस्सी. (नागपूर)  
प्रमुख, भौतिकी विभाग, नागपूर विश्वविद्यालय

लक्ष्मण श्रीनिवास नन्दनपवार, बी. एस्सी (ऑनर्स), एल. एल. बी.  
प्राध्यापक, विज्ञान महाविद्यालय, नागपूर

## FOREWORD

Convinced of the educational and national value of the use of Indian Languages in Indian Universities, the Academic Council of Nagpur University, on 12th September, 1946, resolved that Hindi and Marathi shall be the media of instruction in the University: for the Intermediate courses in Arts and Science from the academic year 1949-50 and for the courses for the B. A. and B. Sc., from the academic year 1951-52. And from the same dates English shall cease to be the medium of instruction in the University.

While co-operating whole-heartedly in the prolonged All-India deliberations for the long-range planning for introduction of Indian languages as media of instruction, Nagpur University has—except as regards postponement of the scheme in respect of the science courses for one year—stuck to its schedule, endeavouring, with all its limitations, to surmount the imme-

mediate practical difficulties in carrying through a linguistic transition of this magnitude.

2. These difficulties are, in the main, the three T's of Terms, Text-books and Teachers.

Thanks to the timely initiative and generous support of its Government, it was possible for the State of Madhya Pradesh to obtain the services of Dr. Raghu Vira of the International Academy of Indian Culture of Lahore and to entrust him with the formidable but foundational task of coining and adapting the technical terms of science for the needs of the new linguistic media. Dr. Raghu Vira, who had already devoted a considerable part of his life to a scientific approach to the problem of technical terms has proceeded to his task on the basic principle of *allied words for allied ideas*, derived from the Sanskrit roots. He has reduced the problem of coining terms almost to an art, an art as fine as it is useful.

3. These terms have been coined and adapted in close collaboration with a band of experienced and enthusiastic teachers of science deputed by the State Government at the same time to prepare suitable text-books of science

under the general direction and guidance of Dr Raghu Vira

They have so far prepared fourteen text-books each with a Hindi and a Marathi version dealing with the Intermediate Science courses in Algebra, Trigonometry, Solid Geometry, Co ordinate Geometry, Statics, Dynamics, Physics (Theory), Practical Physics, General and Inorganic Chemistry, Organic Chemistry, Practical Chemistry, Zoology, Botany (Theory) and Botany (Practical)

The manuscripts of these text-books, when received from the Government, were referred by the University to its Boards of Studies in the various subjects and, on receipt of their reports, the Academic Council decided, on 8th December, 1949, that, subject to certain specified changes, they be recommended as suitable for the Intermediate Science courses of the University

4 Finally in accordance with a suggestion of the State Government and with the help of an appropriate Government grant, the University decided in April, 1950, to undertake the publication of these first text-books prepared for its courses in science Their printing is now

in progress and seven of these—both Hindi and Marathi versions—which are required for use in the first year of the Intermediate courses are being published today.

5 In the special position occupied by the the Universities of the Madhya Pradesh, it has been necessary to publish these books both in Hindi and Marathi. This has added to the labour and the cost involved. At the same time it has given us a unique advantage we have here an opportunity of piloting an educational experiment in a regional language and at the same time in the language of the Union. The inter action of the two parallel series of lectures and text books in the same University—and in many cases, in the same college—will, I am confident, prove valuable for the emergence of both Hindi and Marathi as more perfect media of higher education than they can claim to be at present.

6 As regards the change of medium for the Intermediate Arts courses this has already been brought into force from the academic year 1949-50. The proposal for preparation and publication of text books specially designed for

the needs of the University is still under the consideration of the authorities. It was, however, thought desirable not to postpone the operation of the scheme in respect of the Arts courses as (i) the number of technical terms required for Arts is much smaller, as compared with those required for Science, and (ii) a certain number of text books of the Intermediate Arts standard are already available, both for Hindi and Marathi. For certain subjects, glossaries of technical terms which will serve the preliminary needs of the teachers and the students have also been prepared by the University Boards of Studies. It is further hoped that it would soon be possible to adopt a scheme for preparation of text books for Arts subjects also.

7. At the transitional stage, the problem of teachers adequately qualified to give instruction through the Indian languages presents another hurdle. For reasons both historical and geographical, the colleges of Madhya Pradesh have been fortunate in having on their staff teachers who between themselves, can claim almost all the principal spoken languages of India as their mother tongues. At the present stage,

however, this creates an immediate difficulty in re organizing the teaching arrangements on the new basis. The University is, however, confident that, where necessary, the teachers will avail themselves of the existing opportunities of acquiring a fairly good knowledge of the language of the Union or a language of their region and that the teachers and the management will, between themselves, so arrange the teaching programmes of colleges that the transition to the new media is made both smooth and effective.

No formal test for imparting instruction through the new media has accordingly been prescribed by the University.

8 The final shape of the cultural media of the new India will, after all, be moulded by that intellectual commerce between the teacher and the taught which we call University education. The scheme of Nagpur University leaves the choice as between the Sanskritic technical terms and their equivalents to the teachers and the students themselves. The text-books being published under the scheme give the new Sanskritic technical terms as well as their English equi-

valents and both teachers and students are, at the present stage, permitted to use either of them according to their convenience and requirements. Adoption of this course cuts across the prevailing controversy with regard to the structure of technical terms and, at the same time, gives the newly-coined terms an opportunity to be judged on their own merits along with their English competitors in the academic field.

- 9 Progress in education requires both individual experiments and general planning, local initiative as well as central direction. It would hardly be proper to be dogmatic about their order of priority and, in the case of a great linguistic transition at the University stage, the problem requires to be attacked on all fronts. The Conference of Education Ministers and Vice Chancellors of India convened by the Ministry of Education in New Delhi in January, 1948, had recommended five years as the time limit within which Indian Universities should make the requisite preparations for commencing their instruction through the Indian languages. The Indian Universities Commission has, however, wisely left the determination of the duration



some written material to stimulate and sustain our thinking in these languages. It is a vicious circle that has to be broken and the present series of books is an organised attempt to break it. Deeper thought, practical experience, national planning and local variations will, I have no doubt, change the shape of much of what is written in these text-books. If, however, they serve even as a raw material on which these forces can play to mould them according to our varying requirements, the labour of those who have worked during the last four years for making this new academic venture a success will have been amply rewarded.

The J. N. Tata University  
Convocation Hall, Nagpur.  
15th August 1950.

*K. L. Dubey*  
Vice-Chancellor,  
Nagpur University.

## INTRODUCTION\*

भौतिकी stands for भूतिरि विद्या. It is an adnoun from भूत (as in पद्मभूत or भूतद्रव्य which are common terms for matter) भौतिकी विद्या or simply भौतिकी is the science of matter or more technically the science which deals with phenomena of (inanimate) matter involving no changes in chemical composition or more specifically with the most general and fundamental of such phenomena namely motion भूतद्रव्यविद्या, भौतिकपदार्थविज्ञान or पदार्थविज्ञान are other terms which are used for physics in Hindi, Bengali and other languages. But भौतिकी has the advantage of being a single, compact word which is more amenable to derivational formations than the longer compound words.

A word more about the formation of भौतिकी. One of the methods of naming sciences in Sanskrit was to use adjectival forms with feminine endings originally intended to be followed by विद्या as मानसि for मानसी विद्या the science of mind अर्थी, वार्ता and आन्वीक्षिकी are well known from the अष्टाश्रय of कौटिल्य.

---

\*In writing the introduction in English I have followed the wishes of Lt Col Shri K. L. Dubey, the Vice-Chancellor of the Nagpur University. It is hereby intended to introduce the book to such teachers as know neither Hindi nor Marathi.

रामचन्द्र in his commentary of the first verse of लक्ष्मणवचि,  
 a continuation of चम्पूरामायण of विदर्भराज, mentions two  
 sciences अदृश्यवर्णी and दूरेकर्णी. The commentators of  
 श्रीमद्भागवत, such as श्रीधर, record वैनयिकी विद्या, वैजयिकी विद्या  
 -यायामिकी विद्या and वैज्ञानिकी विद्या

The adjectival suffix *-ic* in English which is ultimately derived from Skt *-िक* through Greek *ikos* Latin *icus* and French *ique*, has also been used similarly Greek or Latin nouns that were originally adjectives were used substantively and adopted into English as arithmetic music logic etc. Since 1600 A D the plural form *ics* has been used instead to denote names of sciences as in physics mathematics politics economics. This was probably in imitation of the Greek *ta physika ta ethika*. It is further interesting to note that these plural forms are now construed as singulars. In German and French usage the singular *-ic* is still used in the names of sciences, e.g. *die Physik die Politik* in German and *la physique la politique* in French.

\*

†

\*English technical terms are international—this is what a large number of Indians are heard to say now-a-days. On the eve of transition from English to Hindi that is the slogan to which our English edu

---

\*This section has been adapted from our Introduction to the Elementary English Indian Dictionary of Scientific Terms second edition pp 7 8

cated generation is trying to stick, hoping that they might be saved the worry of learning their own language. We shall examine this slogan. In England the word "international" can be used without any prick to the English conscience only if a few of the neighbouring countries fall in with the British. For example, Norway, Denmark, Holland, Belgium, France, Spain are so many nations. If these countries agree in the use of certain terms scientific or literary, religious or cultural then the English people say that these terms are international. This usage of the word "international" must be kept clearly before the mind by our Indian friends. They should also keep in mind that Europe and America form one homogenous civilization. The source of their religion and civilization is one. If the variety of Governments be moved out of the horizon then they can be taken as one mass of humanity as against the Indian or the Chinese. Among themselves the Europeans and the Americans do not show greater differences than the various linguistic communities of Northern India. To the Europeans Greek and Latin have the same sanctity as Sanskrit has to us.

The internationalism of English terminology is really a community of civilization among the different language groups of Europe who are known as different nations on account of the different Governments. But when an Indian borrows the phrase from the English he understands by the word international the whole world including India, China and Japan. He means by it that it is binding on us to use English terms whether they be intelligible or not.

रामचन्द्र in his commentary of the first verse of उद्भवप्रवि,  
 a continuation of चम्पूरामायण of विदर्भराज, mentions two  
 sciences अद्वयकर्मणी and दूरकर्मणी. The commentators of  
 श्रीमद्भागवत, such as श्रीधर, record वैदिकी विद्या, वैजयित्री विद्या,  
 व्यायामित्री विद्या and वैतालिकी विद्या.

The adjectival suffix *ic* in English which is ultimately derived from Skt -इक, through Greek *-ikos*, Latin *-icus* and French *-ique*, has also been used similarly. Greek or Latin nouns that were originally adjectives were used substantively and adopted into English, as arithmetic, music, logic, etc. Since 1600 A D the plural form *ics* has been used instead to denote names of sciences as in physics, mathematics, politics, economics. This was probably in imitation of the Greek *ta physika, ta ethika*. It is further interesting to note that these plural forms are now construed as singulars. In German and French usage the singular *-ic* is still used in the names of sciences, e.g. *die Physik, die Politik* in German, and *la physique, la politique* in French.

\*

†

‡English technical terms are international—this is what a large number of Indians are heard to say now-a-days. On the eve of transition from English to Hindi that is the slogan to which our English edu

---

\*This section has been adapted from our Introduction to the Elementary English Indian Dictionary of Scientific Terms, second edition, pp 7, 8

cated generation is trying to stick, hoping that they might be saved the worry of learning their own language. We shall examine this slogan. In England the word "international" can be used without any prick to the English conscience only if a few of the neighbouring countries fall in with the British. For example, Norway, Denmark, Holland, Belgium, France, Spain are so many nations. If these countries agree in the use of certain terms scientific or literary, religious or cultural then the English people say that these terms are international. This usage of the word 'international' must be kept clearly before the mind by our Indian friends. They should also keep in mind that Europe and America form one homogenous civilization. The source of their religion and civilization is one. If the variety of Governments be moved out of the horizon then they can be taken as one mass of humanity as against the Indian or the Chinese. Among themselves the Europeans and the Americans do not show greater differences than the various linguistic communities of Northern India. To the Europeans, Greek and Latin have the same sanctity as Sanskrit has to us.

The internationalism of English terminology is really a community of civilization among the different language groups of Europe who are known as different nations on account of the different Governments. But when an Indian borrows the phrase from the English he understands by the word international the whole world including India, China and Japan. He means by it that it is binding on us to use English terms whether they be intelligible or not.

It is not only the technical words in English which are common to other European languages but even ordinary words as Commencement, Religion Philosophy, Architecture etc etc It does not follow that these words are international in the sense that they are binding on us If it were so, then we would start making a thorough investigation as to which words of the English language are common to other languages of Europe But this has never been done in the world and this shall never be done either by us or by any other country If the Europeans have a certain number of words in common, it is not because they were different sets of people as we and the English are, who felt constrained to use words of another language A word of Greek or Latin origin used in one European country is equally intelligible to another European country So they could sit in a conference and accept any Greek and Latin name But they are not our words They cannot be absorbed into our language as intelligible parts of the language They would stand out as insensible conglomeration of awkward sounds

Our generation which has been brought up on English and Latin terminology cannot properly judge the needs of the generations to come the generations who would not be obliged to spend the best part of their school and college life in the mastery of the English tongue

Latin and Greek are the soul of Europe (including Russia) They are not our soul But we also have a soul We are not soulless We have a history and a

tradition We have a heritage to guard and to develop We cannot merely look up to others as to what they speak We have to attend to our own We have to satisfy our hunger for knowledge Our only aim can be how we can grasp knowledge in the quickest and surest manner We shall save time by teaching our children with our own words and phrases the highest truths of science

We shall not waste their energies in exercises, in correct spelling, pronunciation and accentuation of one of the most erratic languages of the world A few intelligent men at every university may go in for foreign languages but the majority must spend their time in actual pursuit of knowledge Our aim, clear and unbending should be the learning of modern knowledge through words which lead us forward and do not stand as effective blocks in the way of progress How many of the Indian teachers of science let us take Botany and Zoology or Chemistry and Mining understand the English hotchpotch, known by the name of scientific nomenclature A part of it is meaningful while a good deal is meaningless But whether originally it is one or the other to the Indian it is all meaningless It is to be learnt by sheer repetition and understood with the help of the context and associations alone The words by themselves may mean next to nothing Because they do not understand these words or because they have never tried to think as to how they can be called in our own languages, an atmosphere of mystery, a sense of the unknown and the unknowable, surround these words with



ntic, thermantidote, thermatology, thermatologic,
 thermatologist, thermesthesia, thermesthesiometer,
 thermic, thermal, thermically, thermic anomaly,
 thermic balance, thermic fever, thermic weight,
 thermion, thermionic, thermionically, thermionic
 current, thermionic emission, thermionic instrument,
 thermionic rectifier, thermionics, thermionic tube,
 thermionic valve, thermit, thermo, thermoammeter,
 thermoanesthesia, thermobarograph, thermobarometer,
 thermobattery, thermocautery, thermochemical, thermo-
 chemic, thermochemically, thermochemist, thermo-
 chemistry, thermochroic thermochrosy, thermocline,
 thermocouple, thermocouple instrument, thermocouple
 meter, thermocurrent, thermodevelopment, thermo
 diffusion, thermodynamic thermodynamical, thermody-
 namically, thermodynamic efficiency, thermodynamic
 potential, thermodynamics thermoelectric, thermo
 electrical, thermoelectric couple or pair, thermoelectric
 inversion, thermoelectricity, thermoelectric multiplier,
 thermoelectric pair, thermoelectric pile, thermoelectric
 power of a metal, thermoelectric series thermoelectric
 thermometer, thermoelectrometer, thermoelectroretive,
 thermoelement, thermoexcitory thermogalvanometer,
 thermogen, thermogenerator, thermogenesis, thermo
 genetic, thermogenic thermogenous, thermogeography,
 thermogeographical, thermogram, thermograph, thermo
 graphy, thermohyperesthesia thermoinhibitory, thermo
 junction thermokinematics, thermolabile, thermolability,
 thermology thermological, thermoluminescence, thermo
 luminescent, thermolysis, thermolytic, thermolyze, ther

thermotherapy, thermotic, thermotical, thermotically, thermotics, thermotropic, thermotropism, thermotropy, thermotype thermotypic, thermotypy, thermounstable, thermovoltaic thermymy These number over two hundred

If we reverse the process, that is if we start providing our own words which would have a meaning in our language, which will not be mere sounds but will be in themselves bearers of a part of their own-definitions, these words will also go on gathering mass. Patience, intelligent work, systematic investigation will enrich our language and our mind as nothing else will. Foreign words tell you nothing. Our own words will tell you something which will lead you ahead. That is exactly the difference between our own and what is exotic.

### Weights and Measures\*

The Greeks had no numbers beyond the *myriad* 'ten thousand ( $10^4$ ) while the Romans did not go beyond *mille* 'one thousand ( $10^3$ ). The English word million is from Italian *milione* augmentative from *mille* 'thousand. In India our ancestors dealt freely with no less than eighteen denominations, and gave them specific names. In Lalitavistara a biography of Lord Buddha, numbers go up to  $10^{53}$  'शौचप्रहलिया, a period of time among the Jain occupies 194 notational places '.

---

\* This portion has been taken over from our Great English Indian Dictionary

As is well known, the decimal place value system is an Indian invention and it is from here that the system has spread eastwards and westwards. Hence we are quite at home in dealing with the metric system दश, शत, सहस्र, अयुत<sup>४</sup>, लक्ष and प्रयुत<sup>५</sup> are single words and can be used simply and unambiguously.

In weights and<sup>१</sup> capacity measures we had great variety in the past. After long search we have been able to select out of these a series, mostly the Magadha, which can serve as the basis for English terminology. Even a cursory glance at the two sets, the ancient Indian and the modern English, will convince the reader that the English system has its close counterpart in the Indian, from the grain up to the ton. The weights are usually multiples of two ( $2, 2^2, 2^3, 2^4, 2, 2^6$ ) with an occasional multiple of three or five. The starting point is यव which is no more and no less than a grain. 180 यव make one tola. The present day Indian Government or Railway seer is 80 tolas, one tola being exactly 180 grains (see also Webster's New International Dictionary of the English Language, 1934, p. 1 ser).

\*दश सहस्र and दश लक्ष are the prevalent names now a days. But अयुत (10 000) and प्रयुत (million) are simpler and easier to use in compounds. Fortunately प्रयुत is one of those few higher numbers whose value is fairly constant right up from the यजुर्वेद (17 2) तैत्तिरीयसंहिता (4 40 11 4 7 2 20 1), and पञ्चावन्त्रलक्षण and शातायनश्रौत down to Vryabhata I (199 A.D.), Sridhara (750 A.D.) Bhaskara II (1150 A.D.), etc.

माप is in use already. Hence it is not used. धान्य which is another name for माप<sup>१</sup> is 15 यव, just as one ram is 15 grains (15.43235). Hence धान्य becomes the basis of the metric system of weights.

प्रस्थ has been our unit of capacity measures since times immemorial. It is the counterpart of the modern liter. In Webster its value has been worked out to be 1.03 liters.

An inch is longer than an अंगुल. Hence it is rendered by प्रांगुल. नख (वस्तु सतइस्तरमितदेश— 600 feet) and क्रोश (4000 इस्तर — 6000 feet) are shorter than furlong and league respectively. Hence furlong is प्रणख and league is प्रक्रोश. A mile is less than a क्रोश, so it is rendered by क्रोशक.

In liquid measures start is made with प्रसृति our counterpart of gill.

४ प्रसृति = शराव

८ शराव = आटक

६४ आटक = सारी

The same relationship is shown by the English measures :

4 gills = pint

8 pints = gallon

63 gallons = hog-head

(Note the slight variation in the last item)

This gives us the following equivalents

<sup>१</sup> The goldsmith's माप is slightly different, being 17 grains troy.

by itself it has been used as a general word expressing measure as well as particular measures, e.g. according to the commentator of तैत्तिरीयसंहिता and कात्यायनश्रौतसूत्र 100 मानs make 5 पलs or पणs

The word मान can be made to cover both the usages of meter, viz., (1) मान meter as the unit of length, and (2) मान as a suffix denoting a measuring instrument, e.g. तापमान thermometer

Meter is subdivided into decimeter, centimeter, millimeter, etc. Their Indian equivalents would be दशमान, सन्धमान, सहस्रमान, etc. Similarly for decameter, hectometer, kilometer, etc. which are its multiples, the Indian equivalents would be दशमान, शतमान, सहस्रमान, etc.

1 Length आयात

micro meter = micron ( $\mu$ ) अणुमान, प्रयु<sup>ति</sup> मान = अणुद (णु मा, मि मा = णु ० ०००००१ मा)

milli meter (mm) सहस्रमान (मि मा ० ००१ मा)

centi meter (c, cent cm) दशमान (मि मा ० ०१ मा)

deci meter (dec decim dm) दशमान (दि मा ० १ मा)

meter, metris (m) मान (मा)

deca meter (dkm dm) दशमान (द मा १० मा)

hecto meter (hec om hm) शतमान १ मा १०० मा)

kilo meter (kil kilo., kilom., kl, km) सहस्रमान (म मा, १,००० मा)

myria meter (my m) अयुतमान (अ मा १० ००० मा)

mega meter महामान, प्रयुतमान (म मा, प्र मा १०,००,००० मा)

2. Heavy भार

metric ton (M T) = millier = tonneau प्रयुत.पण्य (प्र पा १०,००,००० पा)

- quintal (q) सप्त धान्य (स धा १००,००० धा)  
 myria gram (myg) अयुत धान्य (अ धा, १०,००० धा)  
 kilo= kilo gram (kg, kgm, kilo., kilog.) सहस्र धान्य (स धा, १,००० धा)  
 hecto gram (hg) सप्त धान्य (स धा, १०० धा)  
 deca gram (dkg) दश धान्य (द धा १० धा)  
 gram (g, gm gr, grm) धान्य (धा)  
 deci gram (dg) दशति धान्य (दि धा, ०.१ धा)  
 centi gram (cg egm) शति धान्य (शि धा ०.०१ धा)  
 milli gram (mg mgm, mgrm) सहस्रति धान्य (सि धा, ०.००१ धा)  
 micro gram ( $\mu$ E) अणुमान्य प्रयुति धान्य (शु धा, मि धा, ०.००००१ धा)

### 3 Capacity धरिता

- kilo liter (kl) = सहस्र लिटर (स ल्, १००० ल्)  
 hecto liter (hectol, hl) सप्त लिटर (स ल्, १०० ल्)  
 deca liter (dcl) दश लिटर (द ल् १० ल्)  
 liter litre (l, lit) लिटर (ल्)  
 deci liter (dl) दशति लिटर (दि ल् ०.१ ल्)  
 centi liter (cl) शति लिटर (शि ल्, ०.०१ ल्)  
 milli liter (ml) सहस्रति लिटर (सि ल्, ०.००१ ल्)

### ENGLISH SYSTEM आंग्ल मत्र

#### 4 Linear Measure रज माप

- inch (in) प्रागुल (प्रा)  
 foot (ft) पाद (पा)  
 yard (yd) यष्टि (य, यर्)  
 rod (rd) = pole (5 $\frac{1}{2}$  yds) वज (व - - यष्टि)  
 furlong (fur 40 rods) अण्डव (अ, ४० वज)  
 mile (m, mi) मील (मी)  
 league (L) मील (मि)

#### 4. *Square Measure* वर्ग-माप

square (sq.) वर्ग (व.)

acre (A.; a measure of land, originally the amount ploughed by a yoke of oxen in a day, now 160<sup>1</sup>sq. rods)  
अकड़ (ह; ११० व यर)

township (36 sq. miles) पुर (३६ व. को.)

#### 5. *Liquid Measure* तरल माप

gill (gi., gl) प्रसूति (स)

pint (p, pt; 4 gills) शराव (श, ४ प्रसूति)

quart (q, qt, 2 pints) तुर्ब (तु, २ शराव)

gallon (gal, gall, 4 quarts) आढक (द., ४ तुर्ब)

barrel (bar., bbl., hl, brl., 31<sup>1</sup>/<sub>2</sub> gallons) अर्धखारी (अ. खा.; ३१.५ आढक)

hogshead (bhd., 2 barrels) खारी (खा.; २ अर्धखारी)

#### 6. *Circular Measure* चक्रीय माप

second (") वाडिका (")

minute (') मिन (')

degree (°) अंश (°)

quadrant तुरीय

circle, circumference (4 quadrants) चक्र, परिधि (४ तुरीय)

#### 7. *Avoirdupois Weight* सामान्य मार

avoirdupois ('weight of goods'; av., avdp., avoir.)

सामान्य (मा)

grain (g, gr.) यव (य.)

dram (dr, 27 11/32 grains) शाणक (शा., २७ ११/३२ यव)

ounce (oz., 16 drams) शुम्भिका (शु., १६ शाणक)

pound (lb, 16 ounces) प्रांजलि (प्रा., १६ शुम्भिका)

stone (st, 14 lbs) प्रस्तर (स्त., १४ प्रांजलि)

quarter (q, 2 stones) तुरीय (तु., २ प्रस्तर)

hundredweight (cwt, 100 lbs) = short hundredweight  
गोली (गो) = लघु गौली (ल गो, १०० प्राञ्जलि)

long hundredweight (l cwt, 112 lbs) दीर्घ गोली (दी गो ;  
११२ प्राञ्जलि)

ton (t, tn 20 cwt, 2000 lbs) = short ton प्रवर्त (वर्, २०  
गोली, २००० प्राञ्जलि) = लघु प्रवर्त (ल वर्)

long ton (l tn, 2240 lbs) = gross ton, shippers' ton दीर्घ  
प्रवर्त (दी वर्, २२४० प्राञ्जलि)

metric ton (M T 1000 kilograms) मानिक प्रवर्त (मा. वर् ;  
१००० सुरस्रधान्य)

## SYMBOLS

The symbols used in physics are usually abbrevia-  
tions of words for which they stand, e g a for  
Acceleration and Amplitude c for Candle power,  
Capacity, Centigrade and Current, d for Density and  
Distance, e for Electronic charge, g for Gram, etc The  
English language has no more than 26 letters and 26  
is too small a number Hence some of the Greek letters  
are brought into service e g having employed e for  
Electronic charge  $\epsilon$ -ion is employed for Electrode  
Another equally arbitrary usage is that of small and  
capital letters, e g small m stands for Magnification,  
while the capital M is for Magnetic movement or Magni-  
fying power The usage may differ from book to book,  
e g for mass one may use either the small or the capital  
letter (m, M)



The symbol is usually the initial graphic unit, in Roman script a single letter of the alphabet, in Devanagari a vowel, or one or two consonants with a vowel. (In Devanagari the graphic unit may be simplified, e.g., प for पु of पुर्जाक mass number, or instead of the initial graphic unit, the second may be used, particularly when the first syllable is an oft-used prefix, e.g., चू for प्र of प्रचूर्ण-शक्ति (absorptive power).

When pronounced a symbol forms a single syllable.

While in English the symbols are limited by the count of letters in Roman and Greek alphabets, the initial graphic units in Devanagari are numberless. That lends greater richness and clarity to the Indian symbols.

When English letters are not abbreviations, then क ख ग etc. represent a, b, c, etc.

A (absorptive power) चू (प्रचूर्ण शक्ति)

a, f (acceleration) त्व (त्वरण)

a (amplitude) द (दोलविस्तार)

A (current) 1 (absolute units) व (वाह)

2 (practical units) वा (वाह)

A (mass number) प (पुर्जाक)

" (angle) ञ (कोण)

" (coefficient of linear or volume expansion) अ

" a (fraction absorbed) अ (प्रचूर्णित प्रमाण)

△ A B C    △ क ख ग

a, b, c (sides of a triangle) का, छा, गा

A, B, C, D (points on the Wheatstone's Bridge) क, ख, ग, घ

- B (internal resistance or cell resistance) 1 (absolute units) क (अंश-रोध)  
2 (practical units) का
- B (magnetic induction) चू (चुम्बकीय प्रेरणन)  
Cf. I (intensity of magnetization) चु (चुम्बकन-गणना)  
 $\beta$  आ (Cf.  $\alpha$  अ)  
 $\beta$  (angle) आ (कोण)  
 $B$  or  $b$  (fraction reflected) आ (परावृत्त प्रभाग)  
 $\beta$  (fraction transmitted) इ (पारित्यक्त प्रभाग)  
 $\beta$  (pressure coefficient) आ (निर्दीड-गुणक)  
C (candle power) व (बत्ती-शक्ति)  
C (capacity) 1 (absolute units) घ (धारिता)  
2 (practical units) धा  
°C (centigrade) °स (सन्तिक)  
 $C_a$  (coefficient of apparent cubical expansion) वस (प्रत्यक्ष-परिमा-विस्तार-गुणक)  
C (coefficient of true cubical expansion) वस (सत्य-परिमा-विस्तार-गुणक)  
C (current) 1 (absolute units) व (वाह)  
2 (practical units) वा (वाह)  
C (velocity of light) प्र (प्रकाश प्रवेग)  
 $C_p$  (specific heat कम्पा of a gas at constant pressure निर्दीड) ऊज  
 $C_v$  (specific heat कम्पा of a gas at constant volume परिमा) ऊव  
 $d, \rho$  (density) घ (घनता)  
D, w (dispersive power) कू (अपकिरण-शक्ति)  
 $d$  (distance) दू (दूरत्व)  
D (least-distances of distinct स्पष्ट vision) रष

- $\theta_m$  (angle of minimum deviation) अथ (अल्पिष्ठ विचलन कोण)  
 e (electronic charge) प्र (विद्युदणु प्रभार)  
 E (E M F) 1 (absolute units) ग (वि पा व)  
 2 (practical units) गा  
 E (emissive power) वि (विकिरण शक्ति)  
 E (modulus of elasticity) ए (प्रत्यास्थता मापक)  
 E (symbol for electromotive force, and electrode potential) इ  
 E (total energy) वि (संकलित ऊर्जा)  
 e (the elementary electrical charge, the charge on an electron, etc) ए  
 e/m (the ratio of charge to mass of the electron) ए/प  
 ε (the Greek letter epsilon) 1 (an ergon or quantum)अ  
 2 (symbol of dielectric constant या (द्युतिक स्थिरांक) या  
 3 (electrode विद्युद्धार potential,  $\epsilon^c$  to normal calomel पानीय electrode  $\epsilon_h$  to a normal hydrogen electrode) इ, ईप, ईड  
 °F (Fahrenheit) °इ (द्वान्विशक्ति)  
 F (field) ऐ (क्षेत्र)  
 f, F (focal length) न, ना (नाभि आयाम)  
 F (force) व (बल)  
 f (partial pressure of water vapour) इ (आंशिक उष्ण निशीड)  
 G (galvanometer constant) ऐ (द्युवाहमान स्थिरांक)  
 G (galvanometer resistance) इ (द्युवाहमान रोध)  
 G (geometric mean) ग (गुणोत्तर माध्य)  
 g, 'g' (acceleration due to gravity) भू, 'भू' (स्वाकृष्ट-त्वरण)  
 g 1 (gram) पा (ग्राम्य)  
 2 (gram) य. (यव)  
 G (gravitational constant) अया (अभ्याकृष्टि स्थिरांक)

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \text{ (ratio of specific heats of a gas) } \gamma = \frac{\alpha_n}{\alpha_p}$$

- ${}^1_1\text{H}^2$ ,  ${}^1_1\text{D}$  (deuteron) ,  $\text{K}^+$  (द्विताणु)  
 H (heat) ऊ (ऊष्मा)  
 H, h (height) हा, छ (उचाय)  
 H (horizontal component क्षितिज सघटक of earth's field) क्षै  
 h (Planck's constant) कि (क्रियोजाणु स्थिरांक)  
 H, Q (quantity of heat) रा (ऊष्म राशि)  
 I (current) 1 (absolute units) व (वाह)  
 2 (practical units) वा (वाह)  
 I (intensity of illumination) भा (प्रभासन चण्डता)  
 I (intensity of magnetisation) चु (चुम्बकन चण्डता)  
 of B (magnetic induction) चू (चुम्बकीय प्ररोचन)  
 I, K (moment of inertia) ज (जडता विभ्रमिषा)  
 I (total intensity of earth's field पृथिवी क्षेत्र) पृ  
 i (angle of incidence) अ (आगत कोण)  
 J (mechanical यांत्रिक equivalent of heat) या  
 °K (absolute प्रवेगल scale of temperature, Kelvin) °के  
 K (bulk modulus of elasticity) पे (परिमा प्रत्यास्थता-मापांक)  
 of E (modulus of elasticity) ए (प्रत्यास्थता-मापांक)  
 K, k (reduction factor) ख (प्रहसन-खण्ड)  
 K (specific inductive capacity) स्था (constant स्थिरांक)  
 K (thermal conductivity) वा (ऊष्म संचालिता)  
 L (coefficient of self induction) स्व (स्वप्ररोचन गुणक)  
 L (latent heat) ल (गुप्त ऊष्मा)  
 L, l (length) दा, द, दे (दृश्य)  
 λ (wavelength) ल्य (तरंगायाम)  
 M (coefficient of mutual induction) म्य (परस्पर प्ररोचन गुणक)  
 M (magnetic moment) मि (चुम्बकीय विभ्रमिषा)

- M (magnetomotive force) जु (चुम्बक-गमक बल)
- m (magnification) शा (विशालन)
- M (magnifying power) वि (विशालन-शक्ति)
- M, m (mass) प, पु (पुञ्ज)
- m (pole strength) भ (ध्रुव-शक्ति)
- $\mu$  (coefficient of friction) घ (सर्पण-गुणक; from  $\sqrt{\text{घ}}$ )
- $\mu$  (permeability) ध्व (अतिवेद्यता)
- $\mu$  (refractive index) दे (मुजायन-देशना)
- n<sup>1</sup> (neutron) न<sup>1</sup> (क्लीवाणु)
- N, n (number) स, स, सं (संख्या)
- n,  $\nu$  (frequency) स (वारंवारता)
- $\omega$  (angular velocity) को (कोणीय प्रवेग)
- P,  $\pi$  (Peltier coefficient) म (संक्षुब्ध गुणक)
- P, p (pressure) ना, न (निपीड)
- p (transmitted fraction) इ, ई (पारेषित प्रभाग)
- $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$  (Wheatstone's Bridge)  $\frac{प}{क} = \frac{र}{भ}$
- $\pi = \frac{\text{circumference}}{\text{diameter}}$  प्या =  $\frac{\text{परिधि}}{\text{व्यास}}$
- $\phi$  (angle) पे (कोण)
- Q, q (quantity of electricity) 1 (absolute units) प्र  
(विद्युत् शक्ति, प्रत्येक एकक)
- 2 (practical units) प्रा
- r 1 (angle of reflection) आ (परवर्तन-कोण)  
Of i (angle of incidence) अ (आपात-कोण)
- 2 (angle of refraction) सु (मुजायन कोण)
- R (gas constant) र्था (वाति-स्थिरांक)
- R, r (radius) प्रा, न (त्रिज्या)
- R (resistance) 1 (absolute units) र (रोध)

- 2 (*practical units*) रा \* >
- R (resultant) णा (परिणामी)
- $\rho$ ,  $d$  (density) घ (घनता)
- $\rho$  (specific resistance) रा (आपत्तिक रोध)
- s, S (area) झ, झे (क्षेत्रफल)
- s (distance travelled) द (दूराव)
- s (element of length or distance) ध
- Cf L, l (length) दा, द, दे (दैर्घ्य)
- s (shunt resistance) रव (पादबाधन-रोध)
- s (space described) ध (धात्र)
- s (specific heat) क (आपत्तिक ऊष्मा)
- S, T (surface tension) ति (तन्नातति)
- $\sigma$  (pole strength per unit area) च (चुम्बकीय ध्रुव शक्ति)
- $\sigma$  (Stefan's constant) कि (सम्पूर्ण विकिरण स्थिरांक)
- $\sigma$  (surface density) त (तल व ता)
- T (absolute temperature) ता (प्रकेवल ताप)
- T (kinetic energy) गि (गतिक ऊर्जा)
- Cf E (total energy) कि (संवर्धित-ऊर्जा)
- T, S (surface tension) ति (त शक्ति)
- T (periodic time) वा क (काल)
- t (thickness) ध (स्थूलता)
- T t (temperature) ता, त (ताप)
- t (transmitting power) पा (पारण शक्ति)
- $t_1$  (initial temperature) त<sub>1</sub> (आदिम ताप)
- $t_2$  (final temperature) त<sub>2</sub> (अन्तिम ताप)
- $t_n$  (neutral temperature) तैव (कमीव ताप)
- (couple per unit twist) विनमन) ट
- $\theta$  (angle) उ (कोण) \*
- $\theta$  (rate of cooling) शीतन) शी

- $u$  (distance of object)  $u$  (पदार्थे दूरी)  
 $u$  (initial velocity)  $u$  (प्रारम्भिक प्रवेग)  
 $v$  (velocity)  $v$  (प्रवेग)  
 $v_1$  (initial velocity)  $v_1$  (आदिम प्रवेग)  
 $v_2$  (final velocity)  $v_2$  (अन्तिम प्रवेग)  
 $v$  (image distance)  $v$  (प्रतिमूर्ति-दूरी)  
 $V$  (vibration)  $\nu$  (आवृत्ति)  
 $V, v$  (volume)  $V, v$  (परिमा)  
 $V_1$  (initial volume)  $V_1$  (आदिम परिमा)  
 $V_2$  (final volume)  $V_2$  (अन्तिम परिमा)  
 $V_a$  (apparent volume)  $V_a$  (प्रत्यक्ष परिमा)  
 $V$  (potential difference) 1 (absolute units)  $V$  (शुद्ध-भेद)  
 2 (practical units)  $V$   
 $V$  (potential energy) स्थिति (स्थितिक ऊर्जा)  
 $Cf. E$  (total energy)  $E$  (संकलित ऊर्जा)  
 $V$  (vertical उद्यम component of earth's field क्षेत्र)  $V$   
 $Cf. H$  (horizontal क्षैतिज component of earth's field क्षेत्र)  $H$   
 $w$  (electrochemical eq.ivalent)  $w$  (विद्युत् रसायनिक समार्थ)  
 $W$  (water equivalent)  $W$  (जल समारथ)  
 $W, w$  (weigh)  $W, w$  (भार)  
 $w$  (work done)  $w$  (कृत कार्य)  $\int$   
 $\chi$  (susceptibility)  $\chi$  (अनुद्धृता)  
 $X, Y, Z$  क्षा, प्रा, शर्दा, रा, ला  
 $x, y, z$  क्ष, त्र, शर्दा, र, ल  
 $Y$  (Young's modulus)  $Y$  (रेखीय प्रत्यास्थता-मापांक)  
 $Cf. E$  (modulus of elasticity)  $E$  (प्रत्यास्थता मापांक)  
 $Z$  (atomic number)  $Z$  (परमाणु क्रमांक)

- 2 (practical units) रा ' २
- R (resultant) रा (परिणामी)
- $\rho, d$  (density) घ (घनता)
- $\rho$  (specific resistance) रो (भापेक्षिक रोध)
- s, S (area) झ, झे (क्षेत्रफल)
- s (distance travelled) द (दूरी)
- s (element of length or distance) थ
- Cf. L, l (length) दा, द, डै (दैर्घ्य)
- s (shunt resistance) श्व (पादवाधन-रोध)
- s (space described) थ (धाव)
- s (specific heat) क (आपेक्षिक ऊष्मा)
- S, T (surface tension) लि (सतत्ता)
- $\sigma$  (pole strength per unit area) च (चुम्बकीय ध्रुव शक्ति)
- $\sigma$  (Stefan's constant) वि (सम्पूर्ण विकिरण स्थिरांक)
- $\sigma$  (surface density) त (तल घनता)
- T (absolute temperature) ता (प्रकेवल ताप)
- T (kinetic energy) गि (गनिक ऊर्जा)
- Of E (total energy) वि (संकलित-ऊर्जा)
- T, S (surface tension) लि (सतत्ता)
- T (periodic time) का, क (काल)
- t (thickness) थ (स्यूता)
- T, t (temperature) ता, त (ताप)
- t (transmitting power) पा (पारेषण शक्ति)
- $t_1$  (initial temperature) त<sub>१</sub> (आदिम ताप)
- $t_2$  (final temperature) त<sub>२</sub> (अन्तिम ताप)
- $t_n$  (neutral temperature) त<sub>न</sub> (क्लीब ताप)
- $\tau$  (couple per unit twist) विनोटन) ट
- $\theta$  (angle) उ (कोण)
- $\theta$  (rate of cooling) शीतन) री



- $u$  (distance of object) म (पदार्थ-दूरत्व)  
 $u$  (initial velocity)  $u$  (प्रारम्भिक प्रवेग)  
 $v$  (velocity) वे (प्रवेग)  
 $v_1$  (initial velocity) वे<sub>१</sub> (आदिम प्रवेग)  
 $v_2$  (final velocity) वे<sub>२</sub> (अन्तिम प्रवेग)  
 $v$  (image distance) म (प्रतिमूर्ति-दूरत्व)  
 $V$  (vibration)  $\nu$  (आवृत्ति)  
 $V, v$  (volume) वा, प (परिमा)  
 $V_1$  (initial volume) वा<sub>१</sub> (आदिम परिमा)  
 $V_2$  (final volume) वा<sub>२</sub> (अन्तिम परिमा)  
 $V_a$  (apparent volume) वाप्र (प्रत्यक्ष परिमा)  
 $V$  (potential difference)  $I$  (*absolute units*) श (अव्यक्त-भेद)  
 $\mathcal{E}$  (*practical units*) शा  
 $V$  (potential energy) स्थि (स्थितिक-ऊर्जा)  
*Cf. E* (total energy) कि (सकलित-ऊर्जा)  
 $V$  (vertical उदम component of earth's field क्षेत्र) ध्रु  
*Cf. H* (horizontal क्षैतिज component of earth's field क्षेत्र) क्षै  
 $w$  (electrochemical eq. valent) म (विद्युत्-रासायनिक समाहं)  
 $W$  (water equivalent) व (जल समा.)  
 $W, w$  (weight) मा (भ.)  
 $w$  (work done) क (कृत कार्य)  $\curvearrowright$  ( )  
 $\gamma$  (susceptibility) ह (अनुसृतता)  
 $X, Y, Z$  क्षा, या, सा  
 या, रा, ला  
 $x, y, z$  क्ष, य, स  
 य, र, ल  
 $Y$  (Young's modulus) रे (रेखीय प्रत्यासक्तता-मापांक)  
*Cf. E* (modulus of elasticity) प (प्रत्यासक्तता-मापांक)  
 $Z$  - (atomic number) क (परमाणु-क्रमांक)

I had planned the writing of explanatory notes to technical words used in this book, but due to paucity of space, the plan had to be given up. Their absence here has been partially compensated by annotations in the Indian English glossary.

During the course of last three years, I have had the privilege of enjoying the kind sympathy of the Hon ble Pt Ravi Shankar Shukla, the Chief Minister of Madhya Pradesh. To the Hon ble D K Mehta, my debt of gratitude is immense. It is he who as the Finance Minister of the State, set the ball rolling. The Hon ble Pandit Dwarka Prasad Mishra with his unbounded love for Hindi, has been taking personal interest and has gone so far as to establish a special department for the purpose of establishing Hindi and Marathi as the language of this State. To Lt Col N Ganguli the Education Secretary in 1947-48 and his successor Dr V S Jha, I am indebted, for giving top priority to my requirements. Since the establishment of the Languages Department in January 1950 Shri A R Deshpande the Under Secretary has been extending to me his wholehearted cooperation.

My very special thanks are due to Lt Col Kunjalal Dubey, the Vice Chancellor of the Nagpur University. It is due to his love for Hindi and Marathi that the Nagpur University is leading India in the matter of introducing Hindi and Marathi as the media of instruction. It was again due to him that the Nagpur University has taken the heavy responsibility upon itself of pub

lishing the text books that were prepared under the orders of the Government of Madhya Pradesh

Lastly my thanks are due to my colleagues the authors of the text-books who have been with me for the last three years. In the sphere of physics terminology and symbols the help of Shri V M Dabodghao M Sc, Asst Prof of Physics, Vidarbha Mahavidyalaya, Amraoti has been most valuable. My colleagues have worked devotedly, fully convinced of the service that they are rendering to the nation. They have considered their work to be their reward.

Raghu Vira

---

The title page, preface and introduction have been printed at the Aryalalaya Press, Nagpur

# निवेदन



प्राकृतिक विज्ञान या विषयावर मराठीत लिहिण्याचे प्रयत्न प्रथम सन १८३२ ते सन १८५७ या काळात झाले असावे असे दिसते \* त्यानंतर, कोल्हापूर येथील राजाराम महाविद्यालयातील प्राध्यापक कं. बाळाजी प्रभाकर मोडक यानी सन १८९१ आणि त्यापुढील काहा काळात भौतिकी आणि रसायन शास्त्राच्या महा-विद्यालयीन अभ्यासप्रमास उरयुक्त अशी अनेक पुस्तके लिहीली

\* मुंबई मराठी ग्रंथसंग्रहालयातील मराठी दोगामुद्रिताच्या सूचीत पुढील विज्ञान विषयक ग्रंथाची नावे आढळतात

- (१) सारसंग्रह किंवा शास्त्रीय विद्या कलाकोशच्ये सन १८३१  
" " " " " " आवृत्ती २,  
सन १८३१.  
" " " " " " " ३,  
सन १८४२

(२) हरि वेंसावजी वृत्त रसायन शास्त्रविषयक सवाद,  
सन १८३७

(३) सगाराम रामचंद्र शिक्षात वृत्त शास्त्रीय ज्ञानदशन  
सन १८५६.

(४) बेरो लक्ष्मण छत्रे वृत्त पदार्थ विज्ञान शास्त्र, सन १८५७

# विषय-सूची



यांत्रिकी आणि भूतद्रव्यांचे सामान्य गुणधर्म

प्रकरण १-एकवे आणि मापे पृ. १

प्रस्तापना-एकवे-आयाममान-वृद्धिपरची रीति-अनुभवा  
ध्यामि-अणुमान-अभ्यामान-गोलत्वमान.

प्रकरण २-यांत्रिकी, पृ. १६

विस्थापन; प्रवेग-स्वरण-प्रगतिकीय ममीवार-न्युटनचे गति-  
नियम-पुज-भार-वर्भ-शक्ति-ऊर्जा-ऊर्जा-स्थिरता

प्रकरण ३-स्थितिकी, पृ. ३८

सदिश गतीचे प्रतिरूपण-दोन विरुद्ध समान बलाचे  
समतोलन-परिणामीबल-बल-पारंप्यता-बलाचा समांतरभुज  
नियम-बलाचा त्रिकोण-बलाचा बटुभुज-बल विभमिषा-बिंदु भोव-  
तीची बल-विभमिषा-समांतरबले-भ्वाकृष्टि-वेद-बल-मिथुन-समवे-  
अभिनत समतल-बलाची समतोल-स्थिति-यंत्रे-उत्थाम-धक आणि  
अक्षदण्ड-आकृष्टि-अभिनत समतल-अग्नि-साधी तुला.

प्रकरण ४-तरल स्थितिकी पृ. ८२

मान्द्र आणि तरल-घनता-निपीड-तरलातील निपीड-तरल

पदार्थातील निपीडाचे मून-एकाच क्षैतिज तलातील निपीड-नियमित वस्तूची घनता-अनियमित वस्तूची घनता-आपेक्षिक भार-तरलाचा आपेक्षिक भार, घनता कूपो-आर्किमिडीसचा उत्प्लाविता प्रनियम-प्लवन नियम-आर्किमिडिजच्या उत्प्लाविता प्रनियमाचे मत्यापन-आपेक्षिक भार निश्चयनाच्या रीति-साधे तरलमान-निकलसनचे अचल निमज्जन तरलमान-उर्ध्वचाहू नलिकेची रीति-अधोचाहू नली-वापीडमानाचा प्रनियम-व्यवस्थाप्य वापीडमान-अनीर वापीडमान-निनाल-वातोची सपीडघता-माघा उद्वाही उदच-बलोदच-साघा उस्त्रावांच-पारद चूपोदच-मॅवलोडचे अल्पनिपीड-आमान.

प्रकरण ५-भूतद्रव्याचे सामान्य गुणधर्म पृ १२७

द्रव्य स्थिरता नियम-विश्वव्यापी अभ्यावृष्टीचा नियम-आमघटितो-प्रत्यास्यता-प्रत्यास्यतेची मर्यादा-हूक्का प्रत्याबल विचार नियम-परिमा प्रत्याम्यता-बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम-तल आतति-तलाननीचा घ्य्टाणु-बल सिद्धात-केशलत्व-आलगत्व-उपम्नेहन-प्रसृति-आसृति

ऊष्मा

प्रकरण ६- तापमिति. पृ. १६२

तापश्रेणी-श्रेणी रूपान्तर-शुन्य विभ्रम-विगापित पारदस्तम्भ विभ्रम-तापमानांनिक विभ्रमाचे शोधन-विशेष प्रकारची तापमाने, गुपय तापमान, लण तापमान, भृदिष्ट आणि अन्पिष्ट तापमान, रोधतापमान आणि तापमिद्यून.

प्रकरण ७-अनुरेस विस्तरण. पृ १७१

उपमान रीति-तान्द्राध्या विस्तरणाचा उपयोग-अयोत्तसंर निदोल-पारद निरोल-मापाग्टीचे विस्तरण

### प्रकरण ८-धन विस्तरण. पृ. १९५

पात्राचे विस्तरण-तापाचा घननेवर होणारा परिणाम-घन विस्तार गुणकाचे निश्चयन-सत्य आणि प्रत्यक्ष विस्तरण-भारतापमान-तरल स्थैतिकीय रीति-वापीडमान शोधन-विगोपिन स्तम्भ विग्रम-वातिनिघामक-पाण्याचे अनियमित विस्तरण-पाण्याची महत्तम धनता-होपचे साधित्र.

### प्रकरण ९. वाति-विस्तरण पृ. २२४

रेनोचे स्थिर निपोंडोष्म साधित्र-निपोंडगुणक-वाति-तापमान-प्रमाण वाति-तापमान-वाति तापमानातील विभ्रम-वाति-तापमानाने इष्ट ताप गणन करण्याची रीति-प्रकेत्रल तापश्रेणी-वाति-समीकार.

### प्रकरण १०. उपमिति पृ. २४९

ऊमाराशीचे एकक-आपेक्षिक ऊष्मा-तापीय धारिता-आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन करण्याच्या रीति, सान्द्र वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन-मिश्रण रीतीतील विभ्रम-तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा-विलयित सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा-उपमानाचा जलसमार्ह-वातीचा आपेक्षिक ऊष्मा-स्थिर निपोंडावरील वातीच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन-परमाण्विक ऊष्मा नियम.

### प्रकरण ११. अवस्था-परिवर्तन. पृ. २६६

द्रावाक-बुद्बुदाक-द्रावाकाचे निश्चयन, घातू-द्रव्याचा द्रावाक-निपोंडपरिवर्तनाचा द्रावाकावर होणारा परिणाम-गुन श्यान-गुप्त ऊष्मा-द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा-धापनाचा गुप्त ऊष्मा-द्रवणाच्या गुप्त

ऊष्म्याचे निश्चयन-प्रवाप्पाच्या गुप्त ऊष्म्याचे निश्चयन-अधिसीतन-  
अधिनापन-बुन्सेनचे हिम उपमान-जॉलीचे प्रवाप्प भेदोपमान

### प्रकरण १२. वाष्प-निपीड पृ. २९३

तरलाचे वाष्प निपीड-वाष्प घनता-बुद्बुदाकावरील भूयिष्ठ  
वाष्प निपीड-विलयनाचे वाष्प निपीड-भूयिष्ठ वाष्प निपीडाचे  
निश्चयन-डाल्टन्चा आशिक निपीड नियम-आमवन-शीघ्र उद्-  
वाष्पनाने ह्योणारे शीतन-वातीचे तरलन

### प्रकरण १३. उन्दमिति पृ. ३२२

रसायनिक उन्दमान-डानियलचे उन्दमान-रेनाचे उन्दमान-आर्द्र  
आणि शुष्क वन्द तापमाने-आर्द्र वायूचे पुंज निश्चयन-वायुमण्डला-  
तील प्रवाप्पाचे सघनन

### प्रकरण १४. ऊष्म्याचे स्वरूप पृ. ३४२

नाप प्रवैगिकीचा पहिला नियम-ऊष्म्याच्या यांत्रिक समाहंते  
निश्चयन-रोल्टची परिशुद्ध यांत्रिक समाहं रीति-समताप परिवर्तन  
आणि समोप परिवर्तन

### प्रकरण १५. ऊष्मा सन्नामण पृ. ३६५

न्युट्रन-मवाहन-मुसवाहक-बुसवाहक-वे०डीचा अभयदीप-  
ऊष्मा सन्नाहितेचे निश्चयन-तप्त दण्डाची स्थिर नाप अवस्था-  
सलंके सन्नाहिता निश्चयनाचे माधिन-मुसवाहकाच्या सन्नाहिता  
निश्चयनाचे माधिन.



प्रकरण १६-ऊर्मा विकिरण. पृ. ३९५

सापभेदमान-उद्गिरण शक्ति अथवा विकिरण शक्ति- प्रचूषण शक्ति-सियर तापो-प्रिष्ठोन्टचा ऊर्मा विनिमय सिद्धान्त-विकिरणाने होणारे शीतन-विकिरण-गोघन-आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करण्याची गौतम रीति-स्टीफन्चा विकिरण नियम.

भारतीय-आग्नि पारिभाषिक शब्दावलि-पृ. १\* — ३१\*

आग्नि-भारतीय पारिभाषिक शब्दावलि-पृ. ३२\* --- ५२\*



प्रकरण १

# एककें आणि मापें

प्रस्तावना

निव्याच्या व्यवहारान आपण सृष्टीतील विविध घटना पाहता। व त्या घटनापामून होणाऱ्या इतर मवदनाचा इद्रियाद्वांग अनुभव घेतो इद्रियापामून मिळणारे ह ज्ञान गरोखरीच याम्त्विक (वस्तुनिष्ठ objective) आहे अथवा या ज्ञानाचा सबध आपल्या मनाशी (आत्मनिष्ठ subjective) आहे आणि जमा सबध असला तर तो कोणत्या स्वरूपाचा आहे याचा अभ्यास दर्शनशास्त्रान करतात या अनुभवाना कारणीभूत क्षात्रेऱ्या सृष्टीतील घटना सत्य मानून त्या घटनाचाच सागोपाग अभ्यास प्राकृतिक विज्ञानान (natural science) करतात

प्राचीनकाळी भारतीयानी आध्यात्मिक शास्त्रात अप्रतिम प्रगति केली भौतिकीचाही (physics) तात्विक अभ्यास प्राचीनकाळी भारतात झाला द्रव्य परमाणूचेच बनलेल असत ही धारणा प्रथम भारतीयानाच झाली सग्याव (numerals) आणि दशमिक पद्धति (decimal system) भारतापामून इतर देशाना मिळालेली आहे

आधुनिक युगात पाश्चात्यानी भौतिक विज्ञानात पुण्यळ प्रगति केली, यामुळेच आज त्याचा उत्कर्ष झालेला दिमतो गेल्या काही घतकात अनेक शास्त्रज्ञानी आपऱ जीवन भौतिकीच्या अभ्यासान व्यतीत केले त्याच्या या दीर्घ व अविथात प्रयत्नामुळे आपल्या दैनंदिन व्यवहारातील बरेचमे प्रश्न सोडविले गेले आहेत

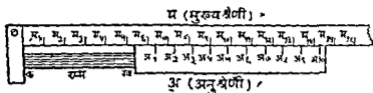
मापण्याचा प्रघात जुनाच आहे. पृथ्वीच्या दैनंदिन परिभ्रमणामुळे (rotation) सूर्य आगारात पूर्वेकडून पश्चिमेकडे जातो असे वाटते. जेव्हा सूर्य पृथ्वीचा अक्ष (meridian) असतो तेव्हा त्या वेळेला 'सौर मध्याह्न' (solar noon) अथवा 'प्रत्यक्ष (apparent) मध्याह्न' म्हणतात. पृथ्वीचा अक्ष होणाऱ्या सूर्याच्या दोन लागोपाठ सफरमणातील (transits) कालांतराला 'सौर-दिन' म्हणतात. ह्या कालांतरात प्रत्यक्ष थोडे परिवर्तन होत असते व या परिवर्तनाचा आवर्तकाल (periodic time) १ वर्षाचा असतो. यावचून संपूर्ण वर्षातील सौरदिन-कालांतराच्या योगसमूहला सौरदिन-मध्यने भागून घेणाऱ्या भागफलाला 'मध्यक सौर दिन' (mean solar day) म्हणतात. या मध्यक सौरदिनाच्या  $\frac{365}{366} \times \frac{1}{24} \times \frac{1}{60} = \frac{1}{1440}$  या भागाला 'मध्यक सौर वाष्टिका' म्हणतात आणि ही मध्यक सौर वाष्टिका कालमापनाचे प्रमाण एक मानतात.

### आयाम मापन

जे आयाम मापपट्टीच्या सूक्ष्म भागचिन्हाचे पूर्णांक अपवर्त्य (integral multiples) असतात, त्याचे मापन सहज होऊ शकते, परंतु व्यवहारात भागचिन्हाच्या पूर्णांक-पट आयाम असलेली उदाहरणे फार क्वचित आढळतात. अशा आयामाच्या परिशुद्ध मापनाकरिता, आपल्याला मापपट्टीच्या सूक्ष्म भागचिन्हाचा प्रमाणही (fraction) मोजता आला पाहिजे. ब्रुसेलस येथील व्हर्नियर या शास्त्रज्ञाने योजलेल्या रीतीने मापन अधिक परिशुद्ध होते.

### व्हर्नियरची रीति

समजा एका रेषाची (cylinder) कस उची परिशुद्धनेने



आ. १-१

मापावयाची आहे. (आकृति १-१ पाहा). आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे कखचा आयाम  $५$  पूर्णभाग +  $m_n$  ख प्रभाग इतका आहे. हा प्रभाग कसा मोजावयाचा ते पाहू म या मुख्य श्रेणीच्या वड्डेने व ही अनुश्रेणी (vernier scale) सरकविता येते. मुख्य श्रेणीवरील आणि अनुश्रेणीवरील भाग अनुक्रमे  $m_n, m_E, m_U$  आणि  $a_1, a_2, a_3$  इत्यादीनी दर्शविले आहेत. मुख्यश्रेणीवरील  $९$  भागाचे अंतर अनुश्रेणीवरील  $१०$  भागाइतके आहे यावरून लक्षात येईल की, अनुश्रेणीवरील  $१$  भागाचे अंतर मुख्य श्रेणीवरील एका भागाच्या  $\frac{१}{१०}$  इतके आहे; म्हणून,

[ मुख्य श्रेणीवरील एक भाग - अनुश्रेणीवरील एक भाग ]

$$= (१ - \frac{१}{१०}) \text{ मुख्य श्रेणीचा भाग}$$

$$= \frac{९}{१०} \times \text{मुख्य श्रेणीवरील एक भाग}$$

अनुश्रेणीचा उपयोग करताना ही सख्या माहीत असावी लागते ह्या सख्येला 'अनुश्रेणीस्थिराक' (vernier constant) म्हणतात आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे अनुश्रेणीवरील  $a_2$  हे  $४$  रें भागचिन्ह मुख्य श्रेणीवरील  $m_2$  भागचिन्हाशी मपाती आहे म्हणून  $m_2$  व  $a_2$  यातील अंतर, मुख्य श्रेणीवरील एक भाग - अनुश्रेणीवरील एक भाग (म्हणजेच अनुश्रेणी-स्थिराक) इतके आहे तसेच  $m_U$  व  $a_3$  यातील अंतर  $m_U$  आणि  $a_3$  यातील अंतरापेक्षा अनुश्रेणी-स्थिराकाइतके वाढले यावरून, खालील समीकारांचा अर्थ समजेल.

$$m_1 a_1 = 1 \times \text{अनुश्रेणी स्थिरांक}$$

$$m_2 a_2 = 2 \times \text{अनुश्रेणी स्थिरांक}$$

$$m_3 a_3 = 3 \times \text{अनुश्रेणी स्थिरांक}$$

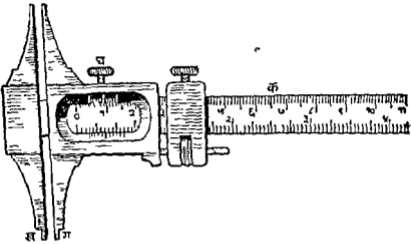
$$m_4 a_4 = 4 \times \text{अनुश्रेणी स्थिरांक}$$

$$\begin{aligned} \text{म्हणून, } W &= \text{मुख्य श्रेणीवरील } 4 \text{ भाग} + m_4 \text{ त प्रभाग} \\ &= \text{मुख्य श्रेणीवरील } 4 \text{ भाग} + 4 \times \text{अनुश्रेणी स्थिरांक} \\ &= \text{मुख्य श्रेणीवरील } 4 \text{ भाग} + 4 \times \frac{1}{4} \\ &= 4 \text{ मुख्य श्रेणीवरील भाग} \end{aligned}$$

अनुश्रेणीवरील न भागाच अनुर मुख्य श्रेणीवरील (स-१) भागाच्या अनुराइनके असल्यास, अनुश्रेणी स्थिरांक  $\frac{1}{n} \times$  मुख्य श्रेणीवरील एक भाग, इतका असतो या अनुश्रेणीचा आयाम मापनासाठी उपयोग करताना, त्यावरील  $n$  भागाच मुख्य श्रेणीवरील एखाद्या भागाशी मर्याती असल्यास प्रभाग वाचन =  $n \times$  अनुश्रेणी-स्थिरांक इतक असतो कोन-वाचनात सूक्ष्मता यथ्याकरिता, कोन-श्रेणीला वर्तुळाकार (circular) अनुश्रेणीची जोड दिलेली असते

### अनुश्रेणी व्यासमि

वर्तुळाकार रीतीचा उपयोग वन्याच मापन-उपकरणात करिताना त्यापैकी अनुश्रेणी व्यासमि (vernier calipers) हे एक नरल स्वरूपाचे उपकरण होय आकृति १-२ मध्ये अनुश्रेणी व्यासमीचे रेखाचित्र दाखविले आहे. क या मुख्य श्रेणीला व जम्भ (jaw) जाडल्या आहे. ग हा चल जम्भ आणि त्यावरील अनुश्रेणी मुख्य श्रेणीवर सरकताना जव्हा व आणि ग जम्भ एकमेकांस सलग्न असतात, तेव्हा मुख्य श्रेणी आणि अनुश्रेणी यावरील मुख्यरक्षा परस्परसममुख असतात. आयाम वाचनाकरिता या व्यासमीचा उपयोग



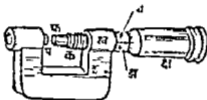
आ १-२

करताना ग जम्भ ख जम्भापासून दूर सारून सपरीक्ष्य (experimental) वस्तु दोन जम्भामध्ये धरतात अनुश्रेणीवरील शून्याकार्पयतचे मुख्य श्रेणीवरील पूर्ण भाग आणि प्रभाग याचे वाचन अनुश्रेणीच्या वर्णनात सांगितल्याप्रमाणे घेतात हे वाचन सपरीक्ष्य वस्तूची उंची होय घ ह्या पार्श्वभ्रमोने (side-screw) ग जम्भ क श्रेणीवर पाहिजे तेथे खिळविता येतो

### अणुमान भ्रम्यामात

अणुमान भ्रम्यामानाच्या (micrometer screw-gauge) साहाय्याने धारीक तारेचा व्यास, धातूच्या पातळ पत्र्याची जाडी इत्यादि आयाम परिदुद्धतेन मापता येतात. क

हा भ्रमि व ह्या नळीतून मागे पुढे फिरवितां येतो. आकृति १-३ अ पाहा. हा ही व भ्रमीची टोपी आहे. ही टोपी पोवळ रम्भावार असून तिचा प्रवणित तट (bevelled edge) अवन बेलेता असतो. हा नळीवरील हा श्रेणीचे अवन गृह्यमानामध्ये बेलेत असताने व आणि भ्रमीचे चपटे टोक फ जेव्हा एवमकांशी सलग्न होनात तेव्हा भ्रमिटोपीचा तट हा श्रेणीवरील गृह्यरंघेवर येऊन त्या तटावरील धनुलाकार श्रेणीची गृह्यरंघा व ह्या स्थिर रंघेसो संपाति करताते.



आ १-३ अ

अनगल



आ १-३ आ

भ्रमीवरील सूत्रे इतक्या परिसुद्धतने कापली असतात की, काणत्याहि दोन लगतच्या सूत्रातील (thread) अंतर समान असते. हा मा टोपीच्या प्रत्येक पूण परिभ्रमणान भ्रमीचे फ टोक दोन लगतच्या भ्रमीसूत्रातील अतगइतक माग किंवा पुढे सरकते. समजा हे अंतर १ सित मा आहे व भ्रमिटोपीच्या प्रवणित तटाच्या

परिधीचे (circumference) १०० समान भाग केले आहेत. भ्रमीच्या पूर्ण परिभ्रमणाने हे १०० भाग य स्थिर रेपेवरून फिरतात; अर्थातच टोपीवरील १०० भाग य रेपेवरून परिभ्रमित झाल्यास भ्रमीचे फ टोक १ सि. मा. पुढे किंवा मागे सरकते. यावरून हें सहज लक्षात येईल की, भ्रमिटोपीवरील १ भागचिन्ह य रेपेवरून परिभ्रमित केल्यास, फ टोक  $1 \div 100$  म्हणजे ०.०१ सि. मा. पुढे किंवा मागे सरकते टोपीच्या एका पूर्ण परिभ्रमणाने भ्रमीचे टोक जितकें अंतर पुढे किंवा मागे जाते, त्या अंतराला भ्रमीचा 'अंतराल' (pitch of the screw) म्हणतात. आ. १-३ आ पाहा. भ्रमीच्या अंतरालाला टोपीवरील एकदर भागाच्या सस्येने मागिले असता, ह्या उपकरणाचे 'अल्पिष्ठमाप' (least count) मिळते. या अल्पिष्ठमापाइतका अल्प प्रभाग ह्या उपकरणाच्या साहाय्याने मापता येणे शक्य होते

भ्रमीचे टोक फ आणि उपकरणाचे स्थिर टोक प ही एकमेकांशी संलग्न असल्यास, भ्रमीच्या टोपीवरील शून्यरेखा य स्थिर रेपेवर असते आणि भ्रमिटोपीचा तट झ श्रेणीवरील शून्यरेखेशी संपाति होतो हे मागे सांगितलेच आहे. आता, भ्रमिटोपी प्रतिघटिवत् फिरवून भ्रमिटोपीवरील स भागचिन्ह य या स्थिर रेपेशी संपाति केल्यास पफ मधील अंतर (स  $\times$  ०.१) मि मा इतके असले पाहिजे. यावरून, सूक्ष्म आयाम मोजण्यास अनुमान भ्रमीचा (micrometer screw) उपयोग करा करतात हें लक्षण येईल.

उपकरणातील प आणि फ टोकामधील अंतर वाढवा य दिलेला पानूचा पत्रा हातांत धरून प आणि फ ही दोन टोके पत्र्याच्या दोन्ही पृष्ठास स्पर्श करतील असा ठेवा टोपीच्या तटापुढे झ

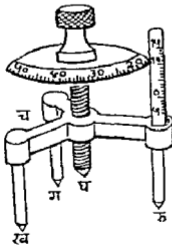


श्रेणीचा अमणारा पूर्णभाग वाचा. ममजा तो भाग ४ घा आहे व व स्थिर रेखेसीं भ्रमिटीपीवरील ३१ वे भागचिन्ह मंदाति आहे. पफ मधील अंतर म्हणजेच पत्र्याची जाडी  $= ४ + ३१ \times ०.१ = ४.३१$  मि. मा. होईल. याचप्रमाणे धातूची तार पफ मध्ये घळून तारेचा व्यास काढता येईल.

प व फ टोके सलग्न असनाता भ्रमिटीपी व इ श्रेणीचे वाचन दृश्य नमल्यास घर दर्शिन्याप्रमाणे इ श्रेणी व टोपीवरील वर्तुळ-श्रेणी याची, वाचने घेतात. या वाचनास 'शून्यविभ्रम' (zero error) म्हणतात; व तो घन अथवा ऋण आहे हे लक्षात घेऊन भ्रम्यामानाने घेतलेल्या पुढील सर्व वाचनांचे योग्य शोधन (correction) करतात.

### गोलत्वमान (spherometer)

या उपकरणाच्या माहाय्याने पातळ पट्ट्याचे स्थोत्यमापन



आ १-४

(जाडी मोजणे) व गोलतलाच्या वक्रतात्रिज्येचे गणन करता येते. भ्रम्यामानाच्या नियमावरच गोलत्वमानाचे कार्य आधारलेले आहे. वाकृति १-४ मध्ये दर्शविण्याप्रमाणे घ हा क, ख, ग या तीन अचल पायावर स्थिर असलेला गुदडः त्रिपाद (tripod) आहे. क, ख, ग ही त्रिपादाची अणकुचीदार टोके साधल्यास एक समत्रिभूज, त्रिकोण होतो. त्रिपादाच्या मध्यमागात बसविलेल्या घ अणुमान भ्रमीच्या शिरोभागी

अकन केलेली वर्तुलाकार तबकडी असते या भ्रमीचे टोक अणबुचीदार असते. या भ्रमीला उपकरणाचा 'केंद्रीय चलपाद' म्हणतात भ्रमीवरील वर्तुलाकार तबकडीच्या परिधीचे १०० समान भाग केलेले असतात सहस्रमानाची एक उदग्रश्रेणी (vertical scale) त्रिपादाकड पक्की बसविलेली असून ही श्रेणी तबकडीच्या परिधीच्या अनि-निकटवर्ति असते उदग्रश्रेणीतील भागाकाच्या सम्मुख असलेल्या तबकडीवरील भागाकाचे वाचन यामुळे सहज करता येत उदग्र-श्रेणीच्या मधोमध शून्याक असून, या शून्याच्या वर व खाली श्रेणी सारखीच अकन केलेली असते त्यामुळे घ हा केंद्रीय चलपादाकड विदू क, ख, ग या स्थिर पादाप्राच्या तलाच्या किती वर किंवा खाली आहे हे निश्चित कळू शकते.

केंद्र भ्रमीचे (central screw) अंतराल उदग्रश्रेणीच्या साहाय्याने काढता येते  $\frac{\text{भ्रमीचा अंतराल}}{\text{तबकडीवरील एकदर भाग सख्या}} = \text{अल्पिष्ठमाप.}$   
या मूत्रावरून अल्पिष्ठ मापाचेहि गणन करता येत

प्रथम तबकडी फिरवून केंद्रभ्रमीचे घ टोक कसग ह्या तलाच्या वर उचलतात व उपकरण वाचेच्या एका समतल स्तारावर (sheet) ठवतात. नंतर तबकडी फिरवून केंद्रभ्रमीच्या टोकाचा वाचस्तारेशी स्पर्श करतात या स्थितीत चारहि पादाचीं टांबे समपातळीत येतील व तबकडीवरील शून्यरेखा आणि उदग्र श्रेणीवरील शून्यरेखा परस्परसममोर येतील ही उपकरणाची शून्य-वाचक स्थिति (zero position) ह्या नंतर तबकडी फिरवून केंद्रभ्रमि पुरसा वर घेतल्यावर त्याखाली वाचस्तारेवर सपरीक्ष्य पातळ पट्टी ठेवतात, आणि त्या पट्टीच्या वरील पृष्ठतलाशी घ टोकाचा स्पर्श होईल इतका केंद्रभ्रमि खाली सरवित्तात या स्थितीत तबकडीच्या पानळीजवळील उदग्र श्रेणीच्या शून्याकाच्या

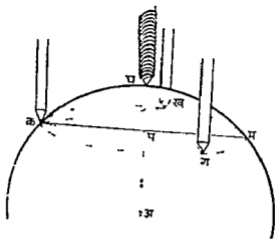
दिशेकडील पूर्ण भागचिन्हाचें वाचन घेतात. तसेच उदग्रश्रेणीसमोर येणाऱ्या तबकडीवरील वर्तुळाकार श्रेणीच्या भागचिन्हाचें वाचन घेतात. या दोन वाचनांवरून पट्टीच्या जाडीचें मापन करता येते; उदाहरणार्थ, उदग्रश्रेणीचें वाचन ३ भागचिन्ह (प्रत्येक भागचिन्ह = १ सि. मा.) व तबकडीचें वाचन ३६ अमून भ्रमीचें अल्पिष्ठमाप ०.०१ सि. मा. असल्यास, पट्टीची जाडी  $3 + 36 \times 0.01 = 3.36$  सि. मा. होईल.

उदुब्ज (convex) वीक्षाच्या (lens) वक्रतात्रिज्येचे गणन करावयाचे असल्यास केंद्र चलपाद पुरेसा वर चढवून, हे उपकरण वीक्षाच्या तलावर अशा तऱ्हेने ठेवतात की तिन्हीहि स्थिर पादाची टोके वीक्षाच्या तलाशी स्पर्श करतात. यानंतर घ केंद्रीय पाद घाली आणून त्याचा वीक्षाच्या तलाशी स्पर्श करविनात. ह्या स्थितीत क, ख आणि ग हे बिंदू एका समपातळीत आहेत, व घ हा बिंदू या पातळीच्या वर आहे. आकृति १-५ आ पाहा. या स्थितीचे



आ. १-५ ब

वाचन उदग्र व वर्तुळ श्रेणीवरून मागे सांगितल्याप्रमाणेच घेतात व खगसमतलापासून केंद्रीय भ्रमीचे टोक घ याची उंची वरील वाचनाने समजने ही उंची छ असल्यास पुढील व्युत्पादिलेच्या सूत्रावरून (formula) वक्रतात्रिज्येचे गणन करता येते.



आ. १-५ आ

क ख ग हा समन्निभुज होतो हे मागे सांगितलेच आहे. केंद्रीय भ्रमि फिरवून त्याचे घ टाक. क ख ग च्या तलात आणल्यास ते टोक वाकृति १-५ अ यात दाखविलेल्या प विद्वत्तून जाते. व प बिंदु क, ख आणि ग या प्रत्येकापासून समान अंतरावर असतो.  $\triangle$  क ख ग ची भुजा कख = का, आणि कप = क्ष आहे. पफ हा कग भुजेवर लंब काढला आहे म्हणून,

$\triangle$  कपफ मध्ये

$$\text{पफ} = \frac{\text{क्ष}}{2}, \text{ कारण } \angle \text{कपफ} = 90^\circ$$

$$\therefore \text{क्ष}^2 = \frac{\text{क्ष}^2}{4} + \frac{\text{का}^2}{4}$$

$$\text{अथवा } \text{क्ष}^2 = \frac{\text{का}^2}{3}$$

आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे कपम हो गोलाचो (sphere) जीवा (chord) आहे म्हणून जीवा छेदनप्रमेयावयून,

$$\text{कप} \times \text{पम} = (२३ - \text{छ}) \text{ छ किंवा } \text{कप}^२ = (२३ - \text{छ}) \text{ छ.}$$

या सूत्रात ३ ही वक्रता विज्या आहे तसेच,

$$\begin{aligned} \text{कप} &= \text{पम} = \text{ध} \\ \text{म्हणून, } \text{ध}^२ &= २३\text{छ} - \text{छ}^२ \\ \text{किंवा } \frac{\text{वा}^२}{३} &= २३\text{छ} - \text{छ}^२ \\ \text{अथवा } ३ &= \frac{\text{वा}^२}{६\text{छ}} + \frac{\text{छ}}{२} \end{aligned}$$

या सूत्रात वा आणि छ यांच्या अर्हा माहीत असल्यास, त्यावरून ३ चे गणन करता येन

क, ख, ग आणि घ हे काचेच्या समतल स्ताराला स्पर्श करतात. मना स्थितीत, उदप्रथेणी व तवकडीवरील वरुळथेणी या दोहोर्वे वाचन शून्य असावयास पाहिजे. त तम नमन्यास, मागे वर्णन केल्याप्रमाणे उदप्रथेणीचे व तवकडीवरील वरुळथेणीचे वाचन घेतान. ह्या वाचनास शून्य विज्या म्हणतात हा विज्या धन किंवा ऋण आहे हें लक्षात घेऊन या उपकरणाने घेतलेल्या मवं वाचनाचे योग्य गोपन करतात

### प्रश्न

१ वापोडमानाची मातयेणी एक भाग =  $\frac{१}{४}$  प्रांगुल (inch) अशा प्रमाणे अकन बंलेली आहे अनुथेणीवरील २५ भागांच अतर मुख्य थेणीवरील २४ भागांदरून अकल्यान अनुथेणी स्थिराचाच गणन करा

२ अनुध्रणीचा नियम योग्य विवरणामह लिहा अनुध्रणीवरील 'स' भागाचे अंतर मुख्य श्रेणीवरील (स+१) भागाइतक असल्यास अनुध्रणी स्थिराकाचे गणन करून या अनुध्रणीच्या साहाय्याने आयामाच परिशुद्ध वाचन कसे घेता यद्दल ह सादाहरण लिहा

३ मुख्य श्रेणीवरील १९ सि मा अंतराचे अनुध्रणीवर १० माग वेळ आहेत या अनुध्रणीच्या साहाय्याने आयाम वाचनात किती सूक्ष्मता येईल याचे गणन करा

४ कोन' मापणाऱ्या वर्तुलाकार श्रेणीच ३ अंगात अकन वेळे आहे कोन मापनात ६ कला (minute) मापण्याइतकी सूक्ष्मता साधावयाची असल्यास अनुध्रणीचे अवन कसे असाव ?

५ भ्रम्यामानाच वणन करा व त्या उपकरणाचा आयाम मापनात उपयोग कसा करतात तें सविस्तरपणे लिहा

६ एक भ्रमि पूण परिभ्रमणान ३ सि मा अंतर सरकतो भ्रमिटावीवर ५० भागांवर असल्यास, भ्रमीचा अनराल आणि अल्पिष्ठमाप किती असेल ?

७ गोलत्वमानाच वर्णन करा आणि त्याच्या साहाय्याने युब्ज (concave) तलाची वक्रतात्रिज्या कशी काढता येईल त लिहा

८ एका गोलत्वमानाच्या शून्य विभ्रमाच वाचन उदग्र श्रेणीच्या शून्याच्या खाली ०.०७ सि मा आहे

(अ) काचपट्टीच्या जाडीच प्रत्यक्ष वाचन १.१५ सि मा असल्यास काचपट्टीची परिशुद्ध जाडी किती अमावी ? [परिशुद्ध वाचन = प्रत्यक्ष वाचन - शून्यविभ्रम]

(आ) एका युब्जतलाचा याच गोलत्वमानाचे चारही पाद स्पर्श करीत असताना मिळणारे प्रत्यक्ष वाचन २.३२ सि मा असल्यास परिशुद्ध वाचन किती अमाव ? दोन स्थिर पादातील अंतर ५ सि मा असल्यास युब्जतलाची वक्रतात्रिज्या किती अमाव ?

## प्रकरण २

# यांत्रिकी

यांत्रिकी या विषयात विविध बलांच्या त्रियेने भूतद्रव्यावर होणाऱ्या परिणामांच्या अभ्यासाचा समावेश होतो. चंद्र पेंवनामा, गतिमान चंद्र याव्यतिरिक्त अथवा गाडी भाटताना आपल्या स्नायूवर ताण पडल्याने होणाऱ्या सवेदनेचे कारण बल अने मामान्यपणे आपण म्हणता. यावरून लक्षात येईल की, वस्तु गतिमान करण्यास अथवा तिच्या गतीत परिवर्तन करण्यास बलाची आवश्यकता आहे. गति, बल, वस्तु-पुंज यांचे व यांच्या परस्पर संबंधांचे परिज्ञान होण्याकरिता यांत्रिकीचा अभ्यास करणे आवश्यक आहे. यांत्रिकीच्या (mechanics) अभ्यासाचे खालील तीन मुख्य विभाग वेगळे आहेत. 'प्रगतिकी' (kinematics) यामध्ये बलाचा विचार न करता गतिमापन, तसेच निरनिराळ्या गतीच्या समिथाने होणारी परिणामी गति (resultant motion) इत्यादिकांचा अभ्यास समाविष्ट होता. 'प्रवेगिकी' (dynamics) या विभागात एक वा अनेक बलांच्या योगाने वस्तुपुंजाने होणाऱ्या गतिपरिवर्तनांचा अभ्यास होतो. विविध बलांच्या त्रियेने वस्तु स्थिर राहिल्यास या समतोल बलांचा अभ्यास 'स्थैतिकी' (statics) विभागात करतात. स्थिर वस्तूची गति शून्य आहे. यावरून स्थैतिकीला प्रवेगिकीचा एक पोटभाग म्हणता येईल. यापुढील विवेचन समजण्यासाठी या विषयाने योजलेल्या परिभाषा माहित अन्नणे अवश्य आहे. ह्या परिभाषा माणूनच आहून त आता पाहू.

वस्तु स्थानान्तर करीत असले तर त्या वस्तूचा गति आहे असे म्हणतात. ही गति तीन प्रकारची असू शकते. १. स्थानान्तरण गति

(translational motion), २ परिभ्रमण गति (rotational motion) आणि ३ प्रदोलन गति (oscillatory motion).

वस्तूच्या सर्व भागांचे स्थानांतर सारखेच होत असल्यास त्या वस्तूची गति स्थानांतरणाची आहे असे म्हणतात. स्थानांतर होत असताना वस्तूच्या निरनिराळ्या भागांचे एखाद्या विशिष्ट ग्येणामून मापलेले अंतर स्थिर राहिल्यास त्या वस्तूला परिभ्रमण-गति (rotatory motion) आहे असे म्हणतात. फिरता भोवरा अथवा स्थावरगत्राचे प्रचक्र (flywheel of the engine) यांची गति परिभ्रामी असते. पाळणा, झोपाळा, घडपाळाचा निदोल अशा वस्तु गतिमान असताना त्यांचे स्थिर स्थितीपामून विस्थापन घेऊन विरुद्ध दिशानी हांते, आणि या गतीत प्रदोलित वस्तु तिच्या गमनमार्गावरील षोणत्पाहि एका बिंदूजवळ त्याच प्रवेगाने काही विशिष्ट कालांतराने वारवार येते. या विशिष्ट कालांतराला प्रदोलनाचा 'आयतकाल' (periodic time) म्हणतात. वस्तूम यरील पैकी एका अथवा अनेक प्रकाराची गति असू शकते. उदाहरणार्थ, गतिमान वाहनाची चाके आणि उडत्या विमानाचे प्रणोदक (propeller) अथवा पक्षे यास स्थानांतरण व परिभ्रमण एका दोन्ही गती असतात.

**विस्थापन (displacement) आणि प्रवेग (velocity)-**

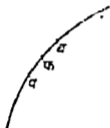
वस्तु स्थानांतर करीत असताना तर पहिल्या स्थानापामून दुसऱ्या स्थानाच्या सरळ ग्येथरील अंतरास वस्तूचे 'विस्थापन' म्हणतात. विस्थापनाची मात्रा (magnitude) आणि ते कोणत्या दिशेने होत हे ममजन्व्यास विस्थापनागर्थी पूर्ण ज्ञान होत

आयाम, परिमा, बाळ यांचे पूर्ण ज्ञान त्याची मात्रा आणि मापनाचे एक मावळून घेते या दृष्टीने विस्थापन ही गति



सायामादि रासायनिक मिश्र धातू. ज्या रासायनिक पूर्ण ज्ञान होण्यास दिशेनाहिले निर्देश आवश्यक असतो अशा रासायनिक 'गतिमान राशि' (vector quantity) म्हणतात. गतिमान रासायनिकी दुमरी उदाहरणं पुढे येतील. पुत्र, मान इत्यादीम 'अदिम राशी' (scalar quantities) म्हणतात.

विस्थापनाच्या अर्थाचा (rate) त्या वस्तूचा 'प्रवेग' (velocity) म्हणतात. गतिमान वस्तूचे एका सरळ रेषेवरील विस्थापन समान कालांतराने-ने कालांतर वितीहिले असून अगळे तरी-भारणेच होत असेल तर त्या वस्तूचा प्रवेग अवल (uniform velocity)



आ २-१

आहे असे म्हणतात. समान कालांतरात विस्थापन गारणे नसल्यास, वस्तूच्या अशा प्रवेगाच्या चल प्रवेग (variable velocity) अर्था सजा आहे. समजा वस्तूच्या गतिमानावरील क या बिंदूजवळील (आकृति २-१ पाहा) पक्ष हे स्थान अंतर प्रमथ्यान लागणारे कालांतर क आहे. आता, हे अंतर प्रमाथमाने लहान लहान करीत

गेल्याम प्रतराच्या प्रमणाचा कात्रहिले लहान होईल आणि  $\frac{\text{अंतर}}{\text{काल}}$  या निष्पत्तीच्या सीमाहोला (limiting value)

त्या वस्तूचा क बिंदूजवळील तात्कालिक प्रवेग (instantaneous velocity at a point) म्हणतात. १ काष्ठिकेन १ सि. मा.

विस्थापन होत असल्यास,  $\frac{१ \text{ सि. मा}}{१ \text{ वा.}}$  हा प्रवेग मि. घा. वा. मापन पद्धतीत प्रवेगाचे एकक आहे.

त्वरण (acceleration)

आवेजवाने (accelerator) आत्मबह (automobile) जास्त वेगाने चालू होतो, म्हणजे त्याचा प्रवेग वाढतो वस्तूच्या प्रवेगात बदल होत असल्यास वस्तूच्या गतीत त्वरण होत आहे असे म्हणतात प्रवेगपरिवर्तनाच्या अर्थाला 'त्वरण' अशी मना आह.

$$\therefore \frac{\text{प्रवेगाचे परिवर्तन}}{\text{परिवर्तनाचा काल}} = \text{त्वरण}$$

प्रवेग सदिश राशि असल्याने त्याचे परिवर्तन सदिश राशि आहे, अर्थात् त्वरणहि सदिश राशि आहे आत्मबहाचा प्रवेग  $\frac{१० \text{ पा}}{\text{का}}$  असून आवेजवाच्या साहाय्याने २ काष्ठिकानंतर त्याचा प्रवेग  $\frac{११ \text{ पा}}{\text{का}}$  झाल्यास, ह्या कालातील

$$\text{माध्यत्वरण} = \frac{\frac{११ \text{ पा}}{\text{का}} - \frac{१० \text{ पा}}{\text{का}}}{२ \text{ का}} = \frac{१ \text{ पा}}{२ \text{ का}} \text{ असते}$$

प्रवेग परिवर्तन या निष्पत्तीची अर्हा अचल राहिल्यास त्वरण अचल आहे असे म्हणतात त्वरणात परिवर्तन होत असल तर वरील निष्पत्तीची सीमाही तात्काणिक त्वरण दर्शविते.

प्रगतिकीय समीकार (kinematical equations)

मरळ रेषेत गतिमान असणाऱ्या वस्तूचा आद्य प्रवेग (initial velocity) व, गतीच्या दिशेने असणाऱ्या त्व ह अचल त्वरण, या त्वरणामुळे व काष्ठिकानंतरचा वस्तूचा प्रवेग वे आणि विस्थापन दू या राशींचे परस्पर संबंध काय आहेत न पाहू

प्रत्येक काष्ठिनेत प्रवेगाचे परिवर्तन र्प्र असल्याने व काष्ठिका नंतरचा प्रवेग,

$$v = v + t \times v \dots \dots \dots (\text{स. २-१})$$

या समीकारावरून लक्षात येईल की वे वी अर्हा काश्चादरोवर ममातर श्रेढीने (arithmetic progression) वाढते.  $\frac{v+v}{2}$  हा क वालातील माध्य (mean) प्रवेग आहे. या माध्य प्रवेगाने वस्तूचे व काष्ठिकातील विस्थापन दू ने दर्शवित्यास,

$$d = \left( \frac{v+v}{2} \right) \times k$$

या समीकारात, समीकार (१) मधील वे च्या अर्हेचा आदेश करून

$$d = \left[ \frac{v + (v + t \times v)}{2} \right] \times k$$

$$d = v \times k + \frac{t \times v^2}{2} \dots \dots \dots (\text{स. २-२})$$

दू अतर प्रमित्यानंतर वस्तूचा होणारा प्रवेग वे आणि हे अतर याचा संबंध खालीलप्रमाणे आहे. समीकार (२-१) चे द्विघातन (square) केल्यावर,

$$\begin{aligned} v^2 &= v^2 + 2 \times v \times t \times v + t^2 \times v^2 \\ &= v^2 + 2 \times t \times v \left( v + \frac{t \times v^2}{2} \right) \end{aligned}$$

कसानील पदसहति दू इतकी आहे समीकार (२-२) पाहा.

$$. \quad v^2 = v^2 + 2 \times t \times d \dots \dots \dots (\text{स. २-३})$$

विश्राम अवस्थेपासून (state of rest) गतीमान झालेल्या वस्तूचा आद्य प्रवेग  $v = 0$  असल्याने, असा वस्तूच्या गतिसवधी वरोल तीन समीकाराची रूप पुढीलप्रमाणे होतात.

वे = त्व क	...	...	(स. २-४)
दू = $\frac{1}{2}$ त्व क <sup>२</sup>	...	...	(म. २-५)
वे <sup>२</sup> = २ त्व दू	...	...	(स. २-६)

सपरीक्षेवहन असे दिसून आले आहे की, पृथ्वीवरील कोणत्याही स्थळी वस्तू मुक्तपणे खाली पडत असताना सर्व वस्तूंचे अधोगत त्वरण सारखेच असते. पृथ्वीच्या आकर्षणामुळे हे त्वरण होते; म्हणून या त्वरणास 'भ्वाकृष्टि-त्वरण' (acceleration due to gravity) म्हणतात आणि ते भू ह्या अक्षराने दर्शवितात. कोणत्याही स्थळी या त्वरणाची अर्धा स्थळाचा अक्षांश (latitude) व तेथील भौगोलिक परिस्थिति यावर अवलंबून असते.

### न्यूटनचे गति-नियम

बलाच्या प्रयोगाने वस्तूत होणाऱ्या गतिपरिवर्तनाचा अभ्यास गॅलिलीओ आदि शास्त्रज्ञांनी केला. परंतु यस्तुपुज (पुज=वस्तूतील द्रव्यराशि) बल आणि प्रवेग यांचा संबंध दर्शविण्याच्या निश्चित नियमाची माहणी सर आयझॅक न्यूटनने केली. या नियमाने 'न्यूटनचे गति-नियम' म्हणतात.

**पहिला नियम**—बाह्य बलाचा प्रयोग होत नसल्यास, स्थिर-वस्तू आपल्या विधाम-स्थितीतच राहताना तसेच बाह्य बलाचा प्रयोग होत नसल्यास गतिमान वस्तूचा गतीच्या दिशेतील प्रवेग अचल असतो.

**दुसरा नियम**—वस्तूच्या गमनापरिवर्तनाचा अर्थ त्या वस्तूवरील विपाकीयलाशी अनुपाती असतो आणि गमनेचे हे परिवर्तन बलाच्या दिशेनेच होते.

ग या वस्तूच्या उपस्थितीमुळे व वस्तूवर बल कार्य करीत असल्यास, ग ची व र निर्या होणे अशी परिभाषा योजून न्यूटनचा गतिविषयक तिसरा नियम पुढीलप्रमाणे देता येईल—

तिसरा नियम - ख ची व वर क्रिया होत असल्यास, क ची ख वर प्रतिक्रिया (reaction) होते या क्रिया आणि प्रतिक्रिया समान असून विरुद्ध असतात

स्थिर वस्तूचा दुसऱ्या वस्तूशी सवध आल्याशिवाय, ती गतिमान होत नाही हा अनुभव आपणाम इतका पटलेला आहे की घगतील वस्तु पूर्वस्यळी न सापडण्याचो कारणें वाय वाचा विचार करताना ती वस्तु काही आपोआप जागचो हालली नाही असे आपण चट्कन म्हणतो, म्हणजे दुसऱ्या वस्तूशी सवध आल्यानेच स्थिर वस्तु गतिमान होतें हा अनुभव आपणास व्यक्त करावयाचा असतो गतिमान वस्तूच्या गतीन परिवर्तन करण्यासहि दुसऱ्या वस्तूची आवश्यकता असते हाहि अनुभव आपणास आहेच. उदाहरणार्थ, गोलदाजाने फेकिल्ल्या चेंडूच्या गतीन बदल करावयाचा असल्यास फलदाजाच्या वेंटीची अथवा यष्टिगडकाची अथवा क्षेत्ररक्षकाची आवश्यकता असते

एका वस्तूच्या उपस्थितीमुळे दुसऱ्या वस्तूच्या स्थिरस्थितीत वा गतीत परिवर्तन होण्याचा सभव असल्यास, या परिवर्तनाचे कारण, पहिल्या वस्तूच्या बलाची, दुसऱ्या वस्तूवर क्रिया होते असे मानले जाते आपल्या हाताच्या विरोधी बलाने आपण गतिमान चेंडू अडविता, फलदाजाच्या वेंटीच्या बलाने चेंडूची गति बदलते इत्यादि वाक्यांत हाच अर्थ आहे वरील अनुभव न्यूटनच्या पहिल्या गतिनियमांत सांगितला आहे या गतिनियमाच्या दुसऱ्या भागाचे शास्त्र स्पष्टीकरण बह. समतल पृष्ठभागावर सरपटत फेकलेला चेंडू समतलाचा पृष्ठ त्रिको जासून गुळगुळीत अगेल, तितका जास्त लाववर जाईल ह आपणाम पटले यावळून सघर्ष (friction) बल कमी झाल्यास गतीचे परिवर्तनहि लवकर होत नाही आणि सघर्ष-बल शून्य झाल्यास, गतीन मुळीच परिवर्तन होऊ नये असा

निष्कर्ष निघनो मात्र सपरीक्षेने या निष्कर्षाचे सत्यापन करणे शक्य नाही, कारण संपर्गगुण्य समतल निर्माण करणे अशक्य आहे. काही परिस्थितीत बलाची वस्तूवर क्रिया होत असूनही वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन होत नाही अशा परिस्थितीचा सूक्ष्म अभ्यास केल्यास दिग्गम येईल की, त्या वस्तूवर इतर बलाची क्रिया होत असून या विविध बलांचे समतोलन होते म्हणून वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन होत नाही. याकारिता बलाच्या क्रियेने वस्तूच्या स्थितीत अथवा गतीत परिवर्तनाचा संभव असतो असे घर म्हणले आहे काही आधुनिक इंजिनीयर्स पाठ्य पुस्तकांत अतुलित बलाने (unbalanced force) वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा तिच्या गतीत परिवर्तन होते असा वाक्य-रचना आढळते.

गतिविषयक पहिल्या नियमाचा दुसऱ्या एका दृष्टीने असा विचार करता येईल की सृष्टीतील सर्व वस्तुमात्राची प्रवृत्ति स्वतःची गति अचल ठेवण्याची असते स्थिर स्थिति अथवा गति यांच्या परिवर्तनाचा वस्तू विरोध करतात असे म्हणता येईल. या विरोधाला भौतिकीत 'जडता' (inertia) असे नाव दिलेले आहे गतिमान आत्मबद्ध (automobile) एखादम घाबविल्यास आतोल प्रवासी गतीच्या दिग्गमेने बाकावरून पुढे फेकते जातात हे अजुनेचे उदाहरण आहे आरोधाच्या (brake) बलाचा गतिमान आत्म-बहावर परिणाम होऊन त्याची गति नाहीशी होते, परंतु प्रवाशांवर आरोधाचा परिणाम होत नसल्याने त्यांची गति चांगूच असते आत्मबहावरील बाक स्थिर होतो व गतिमान प्रवासी स्थिर बाक सोडून स्वतःच्या गतीने पुढेच जात असताना म्हणून ते पुढे फेकल्यासारखे वाटतात

. त्रिरेट्या बॅंड आपण म्हणू पेटता व गतिमान बॅंड सहज

अडवितो, परंतु या चेडू इतकी परिमा असलेला लोखडाचा गोल फेकण्यास अथवा गतिमान गोलान स्थिर करण्यास जास्त बलाची आवश्यकता आहे हे आपणाम पटते यावरून, वस्तुपुज वाढल्यास त्याच्या स्थिरस्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन करण्यास लागणारे बलहि वाढवावे लागते, हा सामान्य अनुभव न्यूटनच्या गतिविषयक दुसऱ्या नियमात जास्त स्पष्टपणे आणि परिशुद्धतेने माडिला आहे. पु आणि पु' अनुक्रमे पुज अमटेल्या वस्तूचे व आणि व' या बलाच्या क्रियेने मारण्याच कालखंडात सारखेच गतिपरिवर्तन होत असल्यास,

$$\frac{v}{v'} = \frac{p}{p'}$$

यावरून, गतिपरिवर्तनाचे अर्ध (त्वरण) सारखे असल्यास,

$$v \propto p \text{ असे म्हणता येईल.}$$

गतिपरिवर्तन लवकर अथवा सावकाश व्हावे हे बलावर अवलंबून आहे हे खालील उदाहरणावरून लक्षात येईल गतिमान आत्मवहाचे मग बंद करून आगाव दाबल्यास आत्मवह लवकर स्थिर होतो दुचाकीला लवकर गतिमान करण्यास पादकावर (pedal) जास्त जोर द्यावा लागतो ह्यावरून बल वाढल्यास गतिपरिवर्तन शीघ्रतेने होणे असा निष्कर्ष निघतो हाच अनुभव परिशुद्धतेने पुढील प्रमाणे लिहिता येईल

वस्तूचा पुज स्थिर असल्यास,

$$v \propto \text{प्रवेग परिवर्तनाचा अर्ध}]$$

न्यूटनच्या गतिविषयक दुसऱ्या नियमात वरील दोन्ही संबंध एकत्रित दाखविते आहेत

$$\begin{aligned}
 & \text{व } \times \text{ पु त्व} \\
 & \text{यावन्न, } \frac{\text{व}}{\text{पु त्व}} = \text{क्ष}
 \end{aligned}$$

(क्षचा अर्हा 'व' आदि राशीच्या मापन-पद्धतीवर अवलंबून आहे )

अथवा, व = क्ष(पु त्व); असा समीकार लिहीता येईल

(पु × प्रवेग) या गुणन फलास 'गमता' (momentum) अशी सजा दिल्यास,

$$\text{व} = \text{क्ष} \times \text{पु} \left( \frac{\text{व} - \text{व}'}{\text{क}} \right), \dots \left[ \text{कारण} \left( \frac{\text{व} - \text{व}'}{\text{क}} \right) = \text{त्व} \right]$$

येथे व आणि व' यांनी अनुक्रमे क बालखडाच्या आरमीचा प्रवेग आणि अंतिम प्रवेग (final velocity) दर्शविला आहे हाच समीकार पुढील प्रमाणे लिहीता येईल

$$\text{व} = \text{क्ष} \left( \frac{\text{पु व}' - \text{पु. व}}{\text{क}} \right)$$

= क्ष × गमतेच्या परिवर्तनाचा अर्थ

न्यूटनच्या काळात गतिपरिवर्तनाने वस्तुपुजात बदल होत नाही असे गृहीत मानण्याची प्रवृत्ति होती गतीने वस्तुपुजात परिवर्तन होत असावे ही कल्पना वेळोवेळी चर्चितली जाऊन गतीमुळे वस्तुपुजात परिवर्तन होत हें आता मान्य झाले आहे या दृष्टीने व = क्ष × गमतेचा अर्थ, हा समीकार जास्त सोयीचा आहे, कारण गमतेच्या परिवर्तनात वस्तुपुजाच परिवर्तन आणि गतीचे परिवर्तन ही दोन्ही समविष्ट आहेत गतिविषयक दुसऱ्या नियमाचा उपयोग करून बलाचे मापन पुढीलप्रमाणे करतात.

$$\text{व} = \text{क्ष पु त्व}$$

एक व पुजाच्या वस्तूत एक व स्वरण निर्माण करणारे बल हें



बलमापनाचे एकक योजिल्याम बरील समोवार खालीलप्रमाणे लिहीता येतो

बलाचे एकक = क्ष × १ पुज × १ त्वरण.

समीनाराच्या दोन पक्षाची अर्हा समान राहण्यास क्ष ची अर्हा १ अनली पाहिजे. (क्ष ची अर्हा मापन पद्धतीवर अवलंबून आहे हे मागे सांगितलेच आहे)

ज्या बलाने एक घान्य पुजात  $\frac{(१ \text{ डि. मा})}{(१ \text{ का.})^२}$  इतके त्वरण उत्पन्न होते

त्या बलाम क्षि. धा का. पद्धतीतील एक मानून बलाच्या या एकाकास 'घावल' (dyne) सज्ञा योजिली आहे

$$१ \text{ घावल} = १ \text{ घान्य} \times १ \text{ त्वरण} = १ \text{ घान्य} \times \frac{१ \text{ डि. मा.}}{(१ \text{ का.})^२}$$

याचप्रमाणे, ज्या बलाने १ प्राजलि पुजात  $\frac{(१ \text{ पाद})}{(१ \text{ का.})^२}$  इतके त्वरण

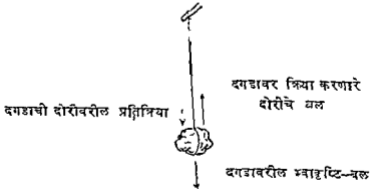
होते, त्या बलास पाद प्राजलि काठिका पद्धतीतील बलाचे एकक मानतात ह्या एककाला 'प्रावल (poundal) अशी मज्ञा आहे

गतिविषयक पहिल्या दोन नियमांच्या विवरणात एका वस्तूच्या स्थिर स्थितीत अथवा गतीत दुसऱ्या वस्तूच्या उपस्थितीमुळे परिवर्तन होत असल्याम, या परिवर्तनाचे कारण दुसऱ्या वस्तूच्या बलाची पहिल्या वस्तूवर क्रिया होते, अशी भाषा योजली आहे त्याच भाषेचा अवलंब करून गतिविषयक तिसऱ्या नियमाचे विवरण करता येईल

क वस्तूच्या व बलाची स वस्तूवर क्रिया होत असले तर स वस्तूच्याहि बलाची व वर प्रतिक्रिया होते आणि या दोन बलांच्या माना समान असून त्यांच्या दिशा विरुद्ध असतात या नियमाची सत्यता खालील उदाहरणावरून दिसून येईल.

शतधनीतून (gun) गोळी मुटतांना गोळीवरील बल शतधनीवरील बलाइतके असल्याने, गोळी मुटतें वेळी शतधनीलाहि विरुद्ध दिशेने धक्का मिळतो

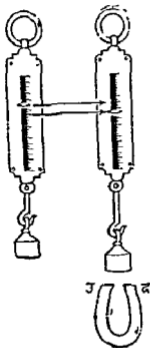
एखाद्या वस्तूच्या स्थिर स्थितीचा अथवा गतिपरिवर्तनाचा विचार करताना त्या वस्तूवर किती बलाचा प्रयोग होतो याचाच विचार करतात. परंतु त्या वस्तूचे दुसऱ्या इतर वस्तूवर कशा प्रकारचे बल आहे याचा विचार करावयाचा नसतो; उदाहरणार्थ, दोरीने टांगलेला दगड स्थिर असण्याचे कारण दोरीचे बल दगडाला वर ओढते आणि भ्वाकृष्टि-बल दगडाला विरुद्ध दिशेने साली ओढते. या बलांच्या अर्हा समान असून त्यांच्या दिशा विरुद्ध असल्याने बलाचे समतोलन होऊन दगड स्थिर असतो असे दिसते. (आकृति २-२ पाहा) या विवेचनात दोरीवरील दगडाच्या प्रतिक्रियेचा विचार करित नाहीत.



आ. २-२

पुंज आणि भार (weight)

वस्तूनील द्रव्यराशीला 'पुंज' ही संज्ञा आहे हे मागें



आ ७-३

साहित्येच आहे. स्प्रिंगबॅलन्सच्या (spring balance) साहाय्याने आकृति २-३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एका लोखंडी गोळ्याचे भारवाचन घ्या हे वाचन लोखंडी गोळ्याचा भार दर्शविते. लोखंडी गोळ्याजवळ पण त्याम स्पर्श न करता लोहचुंबक आणल्याम स्प्रिंगबॅलन्सने दर्शविलेले भाराचे वाचन वाढते. लोखंडी गोळ्यातील द्रव्य-राशीत परिवर्तन न होता त्या गोळ्याचा भार मात्र वाढल्या दिशेत वरील प्रयोगातील भाराचे प्रत्यक्ष परिवर्तन (apparent change) चुंबकीय आकर्षणामुळे होते. यावरून भाराची अर्हा आकर्षणावर अवलंबून आहे असे अनुमान निघते

वस्तूचा भार मा ने दर्शविल्याम,

$$\begin{aligned} \text{मा} &= \text{पृथ्वीचे वस्तूवरील आकर्षणबळ} \\ &= \text{वस्तुपुंज} \times \text{भ्वाकृष्टित्वरण} \\ &= \text{पु} \times \text{भू} \end{aligned}$$

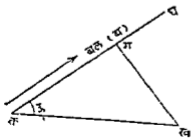
वरील समीकारावरून वस्तूचा पुंज आणि तिचा भार यातून भेद लक्षात येईल. भ्वाकृष्टित्वरणा स्थानावरून बदलते म्हणून स्प्रिंगबॅलन्सने मातर्फे वस्तूचा भार स्थानावरून भिन्न असू शकते; परंतु, वस्तूचा पुंज मात्र स्थानांतराने बदलत नाही. वस्तूच्या स्थानावरून १ घात्य भार हे एक योजन्याम १ घात्यभारही अर्हा सि धा का. एकाच पुंजीप्रमाणे दाखविते येईल

$$\begin{aligned}
 १ \text{ धान्यभार} &= १ \text{ धान्य} \times \text{भू त्वरण} \\
 &= \text{भू} \times १ \text{ धान्य} \times १ \text{ त्वरण} \\
 &= \text{भू} \times १ \text{ धावल} \\
 \text{त्याचप्रमाणे } १ \text{ प्राजलीभार} &= \text{भू} \times १ \text{ प्रावल} \\
 &\text{कर्म}
 \end{aligned}$$

रिकामी गाडी ओढण्यास जे परिश्रम लागतात त्यापेक्षा भरलेली गाडी ओढण्यास जास्त परिश्रम लागतात, आणि गाडी ओढण्याचे अंतर वाढविल्यास परिश्रमाचे मान वाढते हा अनुभव सर्वांच्या परिचयाचा आहे. यावरून बलाच्या प्रयोगाने वस्तूचे विस्थापन करण्यास परिश्रम करावे लागतात असे दिसते. भौतिकीत वरील प्रकारचे परिश्रम या अर्थाचे कर्म (work) ही संज्ञा योजिली आहे. कर्माचे मापन पुढीलप्रमाणे करतात.

कर्म = बल  $\times$  वस्तूतील ज्या विदूवर बलाचा प्रयोग होत असतो त्या विदूचे बलाच्या दिशेने होणारे विस्थापन.

भरलेली गाडी ओढताना जास्त परिश्रम होतात, (कारण भरलेली गाडी ओढण्यास जास्त बल लावावे लागते) हा अनुभव वरील कर्ममापनात दर्शविला आहे. तसेच विस्थापन वाढल्याने कर्माची (परिश्रमाची) अर्हा वाढते हाहि अनुभव कर्ममापनात समाविष्ट झाला आहे.



अ. २-४

एखाद्या वस्तूचे विस्थापन बलाच्या दिशेव्यतिरिक्त इतर दिशेने होत असल्यास बलाच्या दिशेवर त्या विस्थापनाचा निक्षेप (projection) घ्यावा. आकृति २-४ मध्ये बल या विस्थापनाची दिशा बलाच्या

कथ दिशेनी ऊ कोन करले आणि कन्व चा कथ बरोल निक्षेप कन आहे. अशा स्थितीत,

$$\text{कर्म} = v \times \text{कन्व.} \quad (\text{परंतु कन्व} = \text{कन्व} \times \text{कोज्या } \theta.)$$

$$\therefore \text{कर्म} = v \times \text{कन्व} \times \text{कोज्या } \theta.$$

विम्यापन वलाच्याच दिशेने हांत असल्यात वलाचे कर्म धन मानावे आणि वलाच्या विरुद्ध दिशेने विम्यापन झाल्यात ते कर्म ऋण मानावे शि धा वा पदनीत १ घावल चलाने, वलाच्या दिशेने वस्तूचे १ शि. मा विम्यापन करण्यास लागणारे कर्म हें कर्ममापनाचे एकर मानडे आहे, आणि ह्या एककाम १ थ्रम (erg) ही सजा आहे. पा. प्रा. वा. पदनीत १ प्रावल चलाने वलाच्या दिशेने वस्तूचे विम्यापन १ पाद झाल्यास १ एवक कर्म झाले असे मानले आहे. कर्माच्या या एककाला १ पाद प्रावल (foot poundal) ही सजा आहे.

थ्रम ह एवक फार लहान आहे म्हणून व्यवहारान १ कोटिथ्रम (joule) हेहि एकक वापरडे जाते.

$$१ \text{ कोटिथ्रम} = १०^{७} \times १ \text{ थ्रम}$$

$$\text{अथवा, } १ \text{ कोटिथ्रम} = १०^{७} \text{ थ्रम}$$

### शक्ति

उद्योगी मनुष्य थोड्या वेळात जेवढे काम करील तेवढेच काम आळशी मनुष्य रेंगाळत दिवसभरान करील तथापि कामकऱ्याची चावणी घेऊन थोड्या वेळात काम करणाऱ्याचीच आपण निवड करतो. यावरून, अने दिवून येईल की, व्यवहारात कर्म करण्याची शीघ्रता आपण लक्षात घेतो. रहाटापेला उदचाने (pump) विहिरीचे पाणी लवकर काढता येणे तेव्हा गकय अमल्याम आपण विहिरीवर उदच बसवितो बरोल उदाहरणावरून यत्राची उदचकना ठरवितांना त्या यत्राच्या माहात्म्याने किती शीघ्रतेने काम

(कर्म) होतें ह्याचाहि आपण विचार करतो. कर्म करण्याच्या क्षमाला शक्ति (power) ही संज्ञा मोजिल्याम,

$$\text{शक्ति} = \frac{\text{कर्म}}{\text{कर्म करण्यास लागणारा काल}}$$

प्रतिकाष्ठिकेत १ कर्म ही शक्ति सि. धा. का. मापन पद्धतीत दावतीचे एकक मानले आहे.

$$\text{सि. धा. का. पद्धतीत शक्तीचे एकक} = \frac{१ \text{ कर्म}}{१ \text{ काष्ठिका}}$$

पा. प्रा. का. पद्धतीत =  $\frac{१ \text{ पा. प्राजली कर्म}}{१ \text{ काष्ठिका}}$  हे शक्तीचे एकक मानलें आहे.

सि. धा. का. पद्धतीतील शक्तीचे हे एकक लहान असल्यामुळे प्रतिकाष्ठिकेत १ कोटिश्रम हे शक्तीचे एकक व्यवहारात रुढ आहे. या एखाद्या १ ओज (watt) ही संज्ञा आहे.

$$१ \text{ ओज} = \frac{१०^७ \cdot १ \text{ श्रम}}{१ \text{ काष्ठिका}} = १०^७ \times \text{शक्तीचे एकक}$$

१००० ओज = १ महस्र ओज (kilowatt) हेहि शक्तीचे एकक उपयोगात आणतात अमुक यंत्र (engine) १५ अश्वशक्तीचे (horse power) आहे असे आपण म्हणतो या वाक्यातील अश्वशक्ति या शक्तिमापनाच्या एकवाचा अर्थ पुढीलप्रमाणे आहे.

$$१ \text{ अश्वशक्ति} = \frac{५५० \times १ \text{ पा. प्रा.}}{१ \text{ वा.}}$$

$$१ \text{ पाद} = १२ \text{ प्रागूल} = १२ \times २५४ \text{ सि. मा.}$$

$$१ \text{ प्राजटि} = ६५३६ \text{ पाण}$$

यावरून,

$$\begin{aligned} १ \text{ अश्वगति} &= ५५० \times १२ \times २ = ५४ \times ४५३६ \times ९८१ \times \frac{१ \text{ थम}}{१० \text{ काठिका}} \\ &= \frac{५५० \times १२ \times २ \times ५४ \times ४५३६ \times ९८१}{१००} \times \frac{१ \text{ काठोथम}}{१० \text{ काठिका}} \\ &= ७४३ \text{ आज} \end{aligned}$$

### ऊर्जा

आगगाडी आपला मागावर स्थिर अमल्यास नाही वरुं करु शकत नाही परंतु ती गतिमान असताना गवाची क्रिया यांबवित्री तरी एरदम स्थिर न हाता तिची गति प्रमात्रमाने न्यून हाते यावरून, ग्राहमाग (rail) आणि चाच यांतोल सपर्यं, चाच व त्याचे भार (bearing) यामधील सपर्यं, वायुमंडलाचा विरोध इत्यादि रोधक बलाच्या विरुद्ध गतिमान आगगाडी वरुं करु शकते घडघाळाचा स्पर्द किल्लीने घट्ट गुंडाळल्यास पूर्वस्थितीवर पताना तो स्पर्द घडघाळ चाचविण्यास लागणार वरुं करु शकता हे आणि घासारखे इतर अनुभव लक्षात घेता वस्तु गतिमान अमल्यास अथवा कानी विंगष्ट स्थितान अमल्यास तिला वरुं करण्याच सामर्थ्य आहे अस दिसत वरुं करण्याच्या या सामर्थ्याला 'ऊर्जा' (energy) ही संज्ञा आहे आणि ऊर्जेचे मापन कर्मणि करतात गतिमान वस्तूला 'गति-ऊर्जा' (kinetic energy) आहे अम म्हणतान उदाहरणार्थ, पाणचवरी (water mill) आणि पवनचवरी (wind mill) अनश्रम पाण्याचा प्रवाह आणि वाहता वायु

याच्या गति-ऊर्जेने कर्म करतात. विशिष्ट स्थितीमुळे कर्म होत असल्यास; त्या उर्जेस 'स्थिती-ऊर्जा' ही सजा आहे; उदाहरणार्थ, घडघाळाच्या गुडाळलेल्या स्वन्दाला स्थिति-ऊर्जा बसते.

गति-ऊर्जेचे मापन कसे करतात हे खालील विवेचना-वरून समजेल.

समजा पु पुजाचा प्रवेग व आहे आणि व रोध-यलामुळे ती वस्तु प्रवेगाच्या दिशेने दू अतर आक्रमून स्थिर होते. येथे रोधबलाने होणारे त्वरण शून्य चिन्हाने दर्शविले आहे समीपार २-३ प्रमाणे व हा आद्य प्रवेग आणि वे हा अंतिम प्रवेग असल्यास,

$$v^2 = v^2 - 2 \text{ त्व दू}$$

या उदाहरणात वस्तु स्थिर होत असल्यामुळे, वे = ०

$$\therefore v^2 = 2 \text{ त्व दू}$$

परंतु

$$v = \text{पु. त्व}$$

म्हणून

$$\text{त्व} = \frac{v}{\text{पु}}$$

$\therefore$

$$v^2 = 2 \frac{v}{\text{पु}} \times \text{दू}$$

$\therefore$

$$\frac{1}{2} \text{ पु } v^2 = v \text{ दू} \quad \text{(स २-७)}$$

य रोधबलाच्या विरुद्ध दिशेत वस्तूचे दू हे विस्थापन झाल्याने (व × दू) एतदें कर्म करण्याधि सामर्थ्ये गतिमान वस्तूने असते. यावरून, गतिमान वस्तूची ऊर्जा = वस्तूची गति-ऊर्जा

$$= \frac{1}{2} \text{ पु } v^2 \quad \text{(स २-८)}$$

$$\therefore \text{ गतिमान वस्तूची गति-ऊर्जा } = \frac{1}{2} \text{ वस्तुदुज } \times (\text{प्रवेग})^2$$



वस्तूचा अंतिम प्रवेग गुन्य न होतां व' इतका झाल्यास, गति-ऊर्जेची परिघटनेन  $= \frac{1}{2} \text{ पु } व^2 = \frac{1}{2} \text{ पु } (व^2 - व'^2)$ . पृथ्वीवरील एका स्थानातून दुसऱ्या उंच स्थानावर वस्तु ठेवल्यास वस्तूवर कराव्या लागणाऱ्या कर्मांचे गणन पृष्ठे दर्शविण्याप्रमाणे करता येईल.

भ्वाकृष्टि बलाच्या विरुद्ध दिशेने पु पुज, छ अंतरातून विस्थापित केल्यास,

$$\begin{aligned} \text{कर्म} &= \text{भ्वाकृष्टि बल} \times \text{वगळ्या दिशेतील विस्थापन} \\ &= (\text{पु} \times \text{भू}) \times \text{छ} \\ &= \text{पु} \times \text{भू} \times \text{छ} \end{aligned}$$

हे कर्म त्या वस्तूत साठविले असते (पु. भू. छ) ही भ्वाकृष्टि बलाच्या क्षेत्रातील स्थानांतराने साठविलेली ऊर्जा आहे सामान्यतः वस्तूच्या स्थानाची उंची समुद्रसपाटीपासून मोजतात. म्हणून, भ्वाकृष्टि बलाच्या क्षेत्रातील वस्तूची ..

स्थिति-ऊर्जा = पु  $\times$  भू  $\times$  समुद्रसपाटीपासून वस्तूच्या स्थानाची उंची.

वस्तु पुनः मुक्तपणे खाली पडताना पूर्वस्थानाशी पोचल्यावर तिचा प्रवेग वे अमल्यास तिची गति ऊर्जा  $\frac{1}{2} \text{ पु } वे^2$  असते. येथे वे<sup>२</sup> = २ भू छ, कारण आद्य प्रवेग व = ०

वरील समीकाराच्या दोन्ही पक्षास ( $\frac{1}{2} \text{ पु}$ ) ह्या राशीने गुणल्यास

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \text{ पु } वे^2 &= \frac{1}{2} \times \text{पु} \times २ \times \text{भू} \times \text{छ} \\ &= \text{पु} \text{ भू } \text{ छ} \end{aligned}$$

गति-ऊर्जा = स्थिति-ऊर्जा ... . ... स. २-९

यावरून स्थिति-ऊर्जेचे गति-ऊर्जेत रूपांतर होते आणि या रूपांतरात ऊर्जेची अर्हा अचल असत असे दिमून येईल.

## ऊर्जा-स्थिरता (conservation of energy)

भौतिकीच्या पुढील अध्ययनात ऊर्जेची उष्मोजा, रसायनिक ऊर्जा, प्रकाश ऊर्जा, चुंबकीय ऊर्जा, विद्युत् ऊर्जा अशी अनेक रूपे आपणास परिचित होतील. ऊर्जेच्या रूपांतराचे आणखी एक उदाहरण घेऊन हे प्रकरण संपवू. सूर्यप्रकाशातील प्रकाश ऊर्जा, झाडांची मुळे, फाद्या,बुधे इत्यादीत पर्ण-शादाच्या (chlorophyll) साहाय्याने रसायनिक ऊर्जेच्या स्वरूपात साठविलेली असते. त्याकडे जाळून त्यातील रसायनिक ऊर्जेच्या रूपांतराने ऊष्मा निर्माण होतो. यंत्रात त्या उष्म्याच्या योगाने पाण्याचे सपीडित प्रवायात स्थित्यंतर होते. ह्या सपीडित वाण्याच्या विस्तरणाने यंत्राचा मूपल (piston) ढकलला जातो आणि मूपलाशी योग्य रीतीने जुळणी केलेल्या यंत्राच्या प्रचक्राला परिभ्रमणाची गति मिळते. ऊर्जेच्या इतर अनेक रूपांतराच्या अभ्यासावरून असे दिसून आले आहे की, "ऊर्जेचे रूपांतर झाले तरी तिची मात्रा अचल असते" ऊर्जेचा नाश घाल्याचे एकही उदाहरण संपरीक्षेत आढळलेले नाही, आणि सृष्टीतील सर्व घटनांचे ऊर्जेच्या अचल मिद्धाताच्या साहाय्याने समाधानकारक स्पष्टीकरण करता येते हा 'ऊर्जा-स्थिरता' सिद्धान्ताचा (conservation of energy) उत्कृष्ट पुरावा मानण्यात येतो.

### प्रश्न

(१) (अ) सदिश राशि आणि अदिश राशि यातील भेद स्पष्ट करा

(ब) खालील राशींचे सदिश राशि आणि अदिश राशि असे वर्गीकरण करा—(१) क्षेत्रफळ, (२) घनता, (३) शक्ति, (४) गमता (५) कर्भ आणि (६) स्वरूप

(२) गालील घटनाचे गतिनियमाच्या साहाय्याने स्पष्टीकरण करा —

(अ) वपडा झटवल्याने त्यावरील धूळ काढना येते

(आ) गतिमान वाहनानून उतरणारी व्यक्ति गतीच्या दिशेकडे सोड वरून जमीनीवर पोहोचू शकत नाही

(इ) स्थिर वाहन एकदम गतिमान झाल्यास आतील प्रवाशांना गतीच्या दिशेकडे धक्का बसल्यासारखा वाटतो

(ई) होडीतून विनाच्यावर उडी मारल्यान, विनाच्याच्या उलट दिशेला होडी ठकळणी जाते

(३) न्यूटनच्या गति-नियमाचे प्रतिपादन करा

विश्राम अवस्थेतील ३० प्राजलीचा एक पुज अचल बलामुळे गतिमान होऊन ६ काष्ठिकात त्याचा प्रवेग ३६ पाद/का होत असेल तर त्या बलाची राशि काढा

(४) एक गतिमान वस्तु अचल त्वरणामुळे ३ काष्ठिकात ८१ पाद अंतर जाते त्यानंतर त्वरण एकदम शून्य होऊन ती वस्तु पुढील ३ काष्ठिकात ७२ पाद अंतर त्रपण करीत असल्यास आद्य प्रवेग आणि अचल त्वरण याचे गणन करा

(५) एक वस्तु उदग्रोन्मुख दिशेत, ८० पाद/का या वेगाने फेकली आहे या वस्तूला ६४ पाद उंचीवर जाण्याकरिता किती काळ लागतो? ती वस्तु आरम-विन्दूवर किती वेळाने येईल?

$$\left( n = \frac{32 \text{ पाद}}{का३} \right)$$

$$(६) v^2 = v^2 + 2 \text{ त्व. दू.};$$

हा समीकार सिद्ध करा. अवल त्वरणाच्या क्रियेने एक वस्तु गतीच्या आरंभापासून ११ व्या आणि १५ व्या काष्ठिकात अनुक्रमे ७२० पाद आणि ९६० पाद अंतर प्रमिते. २० काष्ठिकात त्या वस्तूने प्रमितेले अंतर काढा.

(७) ५० घान्य पुंजाची वस्तु मुक्तपणे अधोगत सोडली असल्यास तिच्यावरील भ्रूकृष्टि बलाच्या राशीचे गणन करा ५ काष्ठिकानंतर तिच्यातील गमता आणि गति-ऊर्जा यांचे गणन करा ( $m = ९८०$  सि. मा / का<sup>२</sup>).

(८) त्वरण, बल आणि गमता याच्या परिमापा दा.

२० सहस्रघान्याचा पुंज  $\frac{५० \text{ सि. मा.}}{\text{का.}}$  या प्रवेगाने गतिमान आहे.

एका विक्षिप्त बलाने १० काष्ठिकात त्याचा प्रवेग  $\frac{२०० \text{ सि. मा.}}{\text{का.}}$

साल्यास बलाची अर्धा काय असावी ? ह्या कालात तो पुंज किती अंतर जातो ?

(९) तिडकीच्या वरच्या भागापेक्षा १ पाद उंचीवरील स्थानावरून एक दगड खाली सोडला आहे. तिडकीच्या चौकटीची उंची ८ पाद असल्यास, चौकटीच्या वरच्या भागापासून खालच्या भागापर्यंतचे अंतर तो दगड किती वेळात प्रमण करील ?

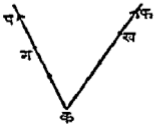
$$(m = ९८० \text{ सि मा / का}^2)$$

## स्थैतिकी

### सदिश राशांचें प्रतिरूपण

पुंज, आयाम, ह्यादि राशी, मर्यादा आणि मापनाचे एकत्र या शी होतो दगंवितात. विस्तारण, वळ, प्रवेग, इत्यादि सदिश राशी, त्यांच्या दिशाना समानर असणाऱ्या रेषावरील राशींच्या अर्होला अनुपाति लायी घेऊन दर्शविण्याचा प्रघात आह. या विधीला सदिश राशींचे म्हणेत आणि दिशेंत 'प्रतिरूपण' (representation) ही सजा आहे उदाहरणार्थ, वस्तूवर प्रिया धरणाऱ्या प, फ बलांचे अनुक्रमे वग, वख या दोन रेषानी आकृति ३-१ मध्ये दर्शविल्या-प्रमाणे प्रतिरूपण केल्यास वग आणि वख या रेषा प, फ बलांच्या प्रियारेषाना समानर आहेत, आणि

$$\frac{\text{वग}}{\text{वख}} = \frac{\text{प}}{\text{फ}}$$

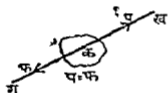


बलांच्या प्रियेने लवात (particle) होणाऱे गतिपरिवर्तन अथवा लवावरील बलांचे समतोलन यांच्या अभ्यासान त्या लवाची परिमा बरीच अल्प असल्याने, लवावरील बलाची प्रिया एकाच बिंदूवर होत आहे अने मानण्याचा प्रघात आहे.

इत्यादि वस्तूच्या आकारांत अथवा परिमैत परिवर्तन हंते. धातू, वाच इत्यादींच्या वस्तूत हे परिवर्तन बरेच अल्प असते. बाह्यबलाने आकार, परिमा यात परिवर्तन न होणाऱ्या वस्तूम 'अनाम्य (rigid) वस्तु' ही संज्ञा आहे. वास्तविक, सृष्टीत एकहि वस्तु अनाम्य नाही. तथापि अनाम्य वस्तूच्या कल्पनेने यांत्रिकीतील अनेक घटनांचे स्पष्टिकरण सुगम होते.

### [ दोन विरुद्ध समान बलांचें समतोलन

वस्तूच्या क विंदूवर बल या दिशेने प बलानी क्रिया होत असल्यास बल दिशेने वस्तु गतिमान होईल. (न्यूटनचा गतिविषयक



आ. ३-२

पहिला नियम पाहा). या स्थितीत बल च्या विरुद्ध दिशेंतील (आकृति सरया ३-२ पाहा.) फ बलामुळे वस्तूच्या गतीचे परिवर्तन, प बलामुळे वस्तूत होणाऱ्या गतिपरिवर्तना-इतनेच असल्यास क विंदु स्थिर

राहील प आणि फ या बलांनी होणाऱ्या गतिपरिवर्तनाच्या अर्धा समान असल्यास, त्या बलांच्याहि अर्धा समान होतील, म्हणजेच  $p = f$  (न्यूटनचा गतिविषयक दुसरा नियम पाहा) यावेळी बल दिशेंतील फ बलाची अर्धा प बलासमान भमलीच पाहिजे हे निश्चि आहे एकाच विंदूवर क्रिया करणाऱ्या दोन समान बलांच्या क्रियारूपा एकच असून, बलांच्या क्रियादिशा विरुद्ध असल्यास त्या बलांचे समतोलन होत

अनाम्य वस्तूवरील क र या दोन विंदूवर अनुक्रमे गवगध ह्या गरळ स्थैतिकी क्रिया करणाऱ्या दोन समान परंतु विरुद्ध दिशा

वसनाच्या बलाच्या शिवा हीन भगल्याग ही अनाम्य वस्तु स्थिर  
 अगने. (हीन हातानी विरुद्ध दिशेत आणि समान बलाने धातूची  
 सळई ओडल्याग ही स्थिर राहने हे आकृति ३-३ मध्ये  
 दर्शविले आहे.)



आ ३-३

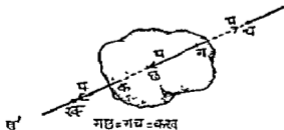
### परिणामी बल

हीन अथवा अधिक बलाच्या शिनेन वस्तूच्या गतीचे त्रिके  
 परिवर्तन होउं त्रिकेच गतिपरिवर्तन एका दिशिष्ट बलाने होउ  
 वसल्यास या बलाना त्या हीन अथवा अधिक बलाचे 'परिणामी  
 बल' (resultant force) म्हणतात

### बल-पारिष्यता

(transmissibility of a force)

आकृति ३-४ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे कस रेवेने महत्तव



आ ३-४

आणि दिशेंत प्रतिरूपित केले<sup>१</sup> काच' दिशेंतील प बल अनाम्य वस्तूच्या क बिंदूवर क्रिया करते खच ही रेखा बाबदून तीवरील ग या बिंदूवर गच = प आणि गछ = प या दोन बलाची क्रिया केल्यास ग येथील समान आणि विरुद्ध बलांनी वस्तूच्या स्थिरस्थितीत अथवा गतीत परिवर्तन होत नाही याच कारण ग पथील दोन समान आणि विरुद्ध बलाच समतोलन होत अर्थात कय गच गछ या तीन बलाच्या युगपद क्रियेने वस्तूच्या स्थिरस्थितीतील अथवा गतीतील परिवर्तन कख बलाच्या क्रियेने होणाऱ्या परिवर्तनाइतकेंच होत परंतु कच आणि गच या बलाच्या अर्हा समान आणि क्रिया-दिशा विरुद्ध असल्याने या दोन बलाच समतोलन होत, म्हणून कख, गच, आणि गछ या तीन बलाचे परिणामी बळ गछ आहे दुसऱ्या शब्दात सांगावयाचे म्हणजे कख बल वस्तूवरील त्या बलाच्या क्रियारेपेन असणाऱ्या ग बिंदूवर हालविल्यास वस्तूच्या गतीत कख ने जितक परिवर्तन होते तितकच परिवर्तन गछ बलाने होईल ह लक्षात येईल या प्रतियमाला 'बलाची पारेष्यता' ही सजा आहे बल-पारेष्यता प्रतियमानुसार अनाम्य वस्तूवरील क बिंदूवर क्रिया करणार बल त्याच्या क्रियारेपत असणाऱ्या अनाम्य वस्तूवरील कोणत्याहि ग बिंदूत क्रिया करते अस मानता येत

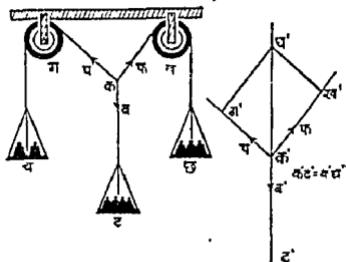
### बलाचा समांतरभुज नियम

(law of parallelogram of forces)

वेगवेगळ्या क्रियारेपा असणाऱ्या दोन बलाची एकाच बिंदूवर क्रिया होत असल्यास या दोन बलांच्या परिणामी बलाची अर्हा आणि क्रियादिशा पुढे दिलेल्या संपरीक्षेने निश्चित करता येत

बलछ, कगच आणि कट या वारीच पण पनक्या दोन्या क या बिंदूवर बाधून आकृति सरया ३-५ मध्ये दशवित्याप्रमाणे कखछ





आ ३-५

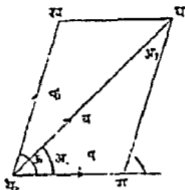
आणि वज्र या दोन्या सघर्षहीन (frictionless) आवृषोवहून खाली सोडल्या आहेत च, ट आणि छ येथील पारडघात निरनिराळे भार टाकून अनुक्रमे वग, कट, कख या दिशानी क वर क्रिया करणाऱ्या चलाच्या अर्हात परिवर्तन करता येन. ट पारडें हातात धरून च आणि छ पारडघात अनुक्रमे कोणतेहि प, आणि फ, भार टाका. यानंतर ट पारडघातील भार क्रमाक्रमाने वाढवून च, ट आणि छ ही पारडी मुक्त अमत्ताना, व स्थिर होण्यास ट पारडघात कोणता भार टाकावा हे निश्चित करा क च्या स्थिरस्थितीत च, ट, छ मधील भार अनुक्रमे प, व, आणि फ, ने दाखविल्यास, त्या भारवलाची क्रिया अनुक्रमे वग, कट आणि कख दिशानी होते, हें लक्षात घेईल.  $p \times \mu = व$  तसेच  $f \times \mu = फ$  आणि  $w \times \mu = व$  इत्यादींनी ही भारवले दाखवून कागदावर कग, कख आणि कट याना अनुक्रमे समानर असलेल्या क'ग', क'ख' आणि क'ट' रेषावर व ग', क'ख'

आणि क'ट' यांचे आयाम अनुक्रमे प, फ, आणि व बलाच्या अर्हांना अनुपाति घेऊन क'ख'ग'घ' हा समांतर भुज साधा. या समांतर भुजाचा क'घ' विकर्ण आणि क'ट' रेषा एकाच सरळ रेषेन असून,

$$\frac{\text{क'ग'}}{\text{प}} = \frac{\text{क'ख'}}{\text{फ}} = \frac{\text{क'घ'}}{\text{व}}$$

अस प्रत्यक्ष गणनावरून आढळून येईल यावरून क'घ' रेषेत व बलाच्या समान असलेल्या परंतु व च्या विरुद्ध दिशेने क्रिया करणाऱ्या बलाचे क'घ' हे प्रतिरूपण आहे असे मानता येईल प, फ आणि व या तीन बलांच्या घुगपद् क्रियेने व स्थिर आहे यावरून तानपंकी कोणत्याहि दोन बलांचे परिणामी बल तिसऱ्या बलाच्या अहोदतवे आणि विरुद्ध दिशेने क्रिया करणाऱ्या असले पाहिजे म्हणून प, फ यांचे परिणामी बल व च्या अहोदतवेच आणि व च्या विरुद्ध दिशेने क्रिया करणारा म्हणजेच आडुतीत दाखविलेले क'घ' बल होय हे लक्षात येईल सपरीक्षेतील वाचनावरून पाढलेल्या समांतर भुजातील क'घ' विकर्ण क'ट' च्या रेषेत असून, या विकर्णाची लांबी ट पारदृष्ट्यातील भाराशी अनुपाति असल्याची प्रचिती येईल ही प्रचिती पुढील समांतरभुज नियमात दर्शविली आहे.

'एकाच विदूवर क्रिया करणाऱ्या दोन बलांचे समांतरमजाच्या दोन सलग्न भुजांनी अहोत आणि क्रियादिशेत प्रतिरूपण केल्यास, त्या सलग्न भुजांच्या छेदन विदूतून जाणाऱ्या विवणाने बलांच्या परिणामी बलाचे, अहोत आणि क्रियादिशेत प्रतिरूपण हाने " विकर्णाने प्रतिरूपित केलेल्या या बलाला वरील दोन बलांचे 'परिणामी बल' म्हणतात आणि या दोन बलांना परिणामी बलाची 'घटक (component) बल' म्हणतात प आणि फ या घटक-बलामधील कोन ऊ असून या बलांचे परिणामी बल व असल्यास,



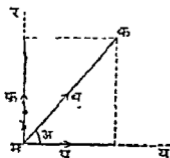
धा. ३-६

$$घ^2 = प^2 + क^2 + २ प. क \times \cos(\alpha)$$

$$\text{त्याचप्रमाणे, } \frac{पग}{प} : \frac{घस}{क} : \frac{पघ}{घ}$$

$$\therefore \frac{क}{\cos \alpha_2} = \frac{प}{\cos \alpha_1} = \frac{घ}{\cos(\alpha_1 + \alpha_2)} = \frac{घ}{\cos(\alpha)}$$

असे सिद्ध करता येईल. वास्तुति ३-६ पाहा.



वा. ३-७

बलाच्या समानरमुज नियमाच्या विरोधप्रमाणे (conversely) ब वलाचे बल, कग दिशेत विघटन केल्यास त्या दिशेतील घटक अनुक्रमे क आणि प आहेत अशी बल-विघटनासंबंधी भाषा रुढ आहे. मक दिशेतील ब वलाचे विघटन दोन परस्परवर्ती लंब असलेल्या दिशांत; केल्यास, आकृति ३-७

मघोल मय आणि मर दिशातील व ची घटक-वले अनुक्रमे प आणि फ असल्यास,

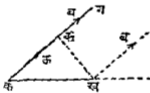
$$व कोज्या (अ) = प$$

$$व ज्या (अ) = फ$$

$$व^2 = प^2 + फ^2$$

परस्पराशी लव असलेल्या दिशातील घटकास 'बलाचे विघटक' (resolved parts of a force) अशी संज्ञा आहे

वरील विघटनाचा भौतिकीतील गणनात उपयोग करतात. उदाहरणार्थ, (आकृति सख्या ३-८ पाहा) कय दिशेने निया करणाऱ्या व बलाने क या क्रियाविंदूचे कल दिशेत ख विदूरपर्यंत



आ ३-८

विस्थापन झाल्यास, या विस्थापनात होणारे कर्म (व × कक') या राशीने दर्शवितात कक' हा कल विस्थापनाचा कय या बलाच्या दिशेवरील प्रक्षेप होय आकृति ३-८ पाहा

या विस्थापनातील कर्मांचे गणन पुढीलप्रमाणे करतात-

$$\text{कर्म} = व \times \text{कक}' = व \times \text{कल} \times \text{कोज्या अ}$$

$$= व \times \text{कोज्या अ} \times \text{कल}$$

$$= व \text{ चा विस्थापनाच्या दिशेतील विघटक} \times \text{विस्थापन}$$

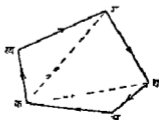
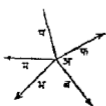
विस्थापन, प्रवेग, त्वरण इत्यादि सर्व सदिश राशींचे संघटन (composition) समांतर भुजाच्या वरील नियमानुसार करतात

### बलांच्या त्रिकोण (triangle of forces)

एकाच बिंदूवर त्रिया करणाऱ्या दोन बलांच्या परिणामी बलाचे निश्चयन करणाऱ्या संपरीक्षेन क बिंदूवर त्रिया करणारी प फ आणि व ही तीन बलें समतुल्येन आहेत हे आपण पाहिजेच आहे. (आकृति ३-५ पाहा). या स्थितीन क 'ख' घ' या त्रिकोणाच्या त्रमगः घेतलेल्या भुजांनी अनुक्रमे फ, प आणि व याचे महत्तेन आणि क्रियादिशेंत प्रतिरूपण करता येते असे दिग्गून येईल विलोमा त्रमाने, एकाच बिंदूवर त्रिया करणाऱ्या तीन बलांचे त्रिकोणाच्या त्रमगः घेतलेल्या तीन भुजांनी प्रतिरूपण करता आल्यास ही तीन बले समतुल्यिन असतात, असे निश्चितपणे म्हणता येईल. एकाच बिंदूवर त्रिया करणाऱ्या तीन समतुल्येन बलांच्या प्रतिरूपणाने साधलेल्या त्रिकोणास 'बलांचा त्रिकोण' अशी सजा आहे.

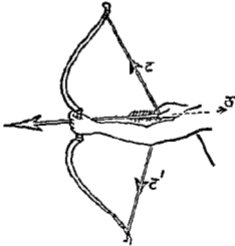
### बलांच्या बहुभुज (polygon of forces)

एकाच बिंदूवर त्रिया करणाऱ्या अनेक बलांचे, बहुभुजाच्या त्रमगः घेतलेल्या भुजांनी अहेत आणि क्रियादिशेंत प्रतिरूपण करता आल्यास ती बले समतुल्यित असतात हे मिळ करता येईल. आकृति ३-९ मध्ये दर्शविलेल्या अ बिंदूवर त्रिया करणाऱ्या प, फ, व, म, न बलांचे अनुक्रमे कख, खग, गघ इत्यादीनी प्रतिरूपण करून वखगघच हा



बहुभुज साधिला आहे. कस आणि खग यांचे परिणामी बल कग घेईल. तसेच कग आणि घघ यांचे परिणामी बल कघ होईल. कघ आणि घन चे परिणामी बल कच हें चक या बलाशी समान परंतु विलंब दिशेने आहे म्हणून कच आणि चक यांचे समतोलन होते. यावरून प, फ, द, भ आणि म या सर्व बलांचे समतोलन होते. कसमघघ या आकृतीस 'बलाचा बहुभुज' म्हणतात.

घनुष्याला बाण लावून तो आकृतिसदृशा ३-१० मध्ये दाख-  
विण्याप्रमाणे मागे ओढल्यास बाण सोडण्यापूर्वी दोरीच्या दोन



आ ३-१०

भागावरील T आणि T' या बलांचे बाण मागे ओढण्याचा हाताच्या U या बलाने समतोलन होते. बाणावरील ह्या काढताच T, आणि T' या दोन बलांच्या परिणामी बलाने बाणाला प्रणोद (impulse) मिळतो

पक्षी उडताना आपले पल, हलवून वायु मागे लोटतो. या वायूची पक्षावरील प्रतिक्रिया प्र ने दर्शविल्याम आकृति मल्या ३-११ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प हे या प्रतिक्रियाचे परिणामी बल



आ. ३-११

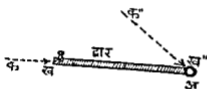
आहे. प हे परिणामी बल आणि पक्ष्याचे स्वावृष्टि बल या दोह्याच्या व या परिणामी बलाच्या दिशेत पक्ष्याची गति असते. वायूचे उत्प्लावना (buoyancy) बल अल्प असल्याने वरील विवरणात ते उपेक्ष्य मानले आहे. नसेच या विवरणात बल पारेष्यता गृहित आहे पोहण्याच्या क्रियेचे स्पष्टिकरणहि वरीलप्रमाणेच आहे. पोहणाऱ्याच्या हातपाय हलविण्याच्या क्रियेने त्यावर पाण्याची प्रतिक्रिया होते या प्रतिक्रियेचे परिणामी बल प, पोहणाऱ्याचे भारबल आणि उर्ध्वोन्मुख उत्प्लावितता बल या तीन बलांच्या परिणामी बलाची दिशा पाण्याच्या पृष्ठतलात असल्याने पोहणारा पृष्ठतलातील या परिणामी बलाच्या दिशेत पुढे जातो

### बल-मिभ्रमिया

( moment of a force )

दार किंवा फाटव उघडताना आणि बंद करताना दाराच्या किंवा फाटवाच्या पान्डीगी वमिलव दिशेने आपण बलाची क्रिया

आ. ३-१२ (अ)



आ. ३-१२ (आ)

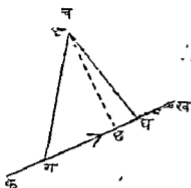
बलाची दिशा क'ख' अथवा क"ख" असल्यास, दार (अ) अक्षामोवती फिरू शकत नाही. आवृत्ति सत्या ३-१२ (आ) पाहा बलाच्या क्रियेने यस्तूत एखाद्या अक्षामोवती फिरण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न झाल्यास या प्रवृत्तीस बलाची त्या अक्षामोवतीची 'विभ्रमिया' (moment) म्हणतात. क'ख' आणि क"ख" इत्यादि बलांनी दार अ अक्षामोवती फिरत नाही याचे कारण ह्या बलाच्या क्रियारेपा अ अक्षामधून जातात. क<sub>१</sub> र<sub>१</sub> इत्यादि वळे अ पामून जितक्या लाव अतरावर लावावीत तितक्या गुलभपणे दारात परिभ्रमणाची गति उत्पन्न होते.

(बल × अक्षावरून बलाच्या दिशेवर टाकलेला लव) या गुणनफलाने बल-विभ्रमियेचे गणन केल्यास वरील सर्व अनुभव बल-विभ्रमियेच्या गणनात समाविष्ट होतान.

विदूभोवतीची बल-विभ्रमिया

बलाची दिशा आणि त्रिदु यांच्या पातळीशी अभिलंब असलेला आणि त्या विदूतून जाणारा अक्ष कल्पित्याम, त्या अक्षामोवतीच्या





आ. ३-१३

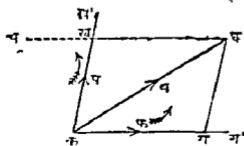
बल-विभ्रमिपेला त्या विदू-  
भोवतीची विभ्रमिपा असें  
म्हणण्याचा संकेत आहे. बाहृति  
संख्या ३-१३ मध्ये दर्शविलेल्या  
कस दिशेने व बलाची प्रिया होत  
असल्यास, व बलाची च या  
विदूभोवतीची विभ्रमिपा =  
 $v \times चछ$ . ह्यात चछ हा च  
वग्न वख दिशेवर वाढलेला  
लव होय. व बलाचे प्रतिरूपण

गघ ह्या रेपेने केल्यास,

व ची च भोवतीची विभ्रमिपा = गघ  $\times$  चछ =  $२ \times \Delta$  गघच चे क्षेत्रफळ.

असा रीतीने बल विभ्रमिपेचे प्रतिरूपण करता येते बलाच्या  
योगाने उत्पन्न झालेल्या परिभ्रमणाची प्रवृत्ति प्रतिघटिवत् (anti-  
clockwise) अथवा घटिवत् (clockwise) असल्यास बल  
विभ्रमिपा अनुक्रमे घन अथवा ऋण मानण्याचा प्रघाट आहे.

घटकबलाच्या पातळीतील कोणत्याहि विदूभोवतीच्या त्याच्या



आ ३-१४

विभ्रमिपाच्या वैजिक  
योगाद्वारे त्या बला-  
च्या परिणामी बलाची  
ही विभ्रमिपा असते.  
हे पुढीलप्रमाणे गणि-  
ताच्या साहाय्याने  
निद्व करता येते. क  
विदून प्रिया वर

पाण्या प आणि फ या दोन बलांच्या विद्यारेषा अनुक्रमे वल्ल' आणि वग' यांनी दर्शविल्या आहेत (आकृति ३-१४ पाहा) ख'कग' ह्या कोनावाहेर असलेल्या च बिंदूतून वग' ला चल ही समांतर रेषा काढून,  $\frac{वल्ल}{वग} = \frac{प}{फ}$  या प्रमाणात वग ची लांबी निश्चित करावी नंतर कखघग ह्या समांतर भुज साधावा. समांतर भुजांच्या बलासंबंधी नियमावरून,

$$\frac{प}{वल्ल} = \frac{फ}{वग} = \frac{\text{परिणामी बल, व}}{वघ} = \text{क्ष}$$

फ बलाची च भोवती विभ्रमिषा = क्ष × २ Δ वगच

प बलाची च भोवती विभ्रमिषा = क्ष × २ Δ वल्लच

या विभ्रमिषा प्रतिघटितवत् असल्याने प आणि फ यांची च भोवती विभ्रमिषा

$$= \text{क्ष} \times २ (\Delta \text{ वगच} + \Delta \text{ वल्लच})$$

$$= \text{क्ष} \times २ (\Delta \text{ वगघ} + \Delta \text{ कखघ})$$

कारण Δ वगच = Δ वगघ

$$= \text{क्ष} \times २ (\Delta \text{ कखघ} + \Delta \text{ वल्लच})$$

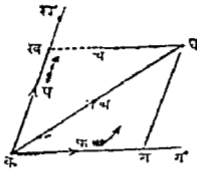
कारण Δ वगघ = Δ वल्लघ

व ची च भोवती विभ्रमिषा = क्ष × २ Δ कपच, यावरून,

प आणि फ ह्यांची च भोवतीची विभ्रमिषा

= व ची च भोवतीची विभ्रमिषा

आकृति सप्त्या ३-१५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दोन बलांच्या विद्यारेषांच्या कोनात च बिंदु असल्यास प आणि प यांच्या च भोवतीच्या विभ्रमिषा अनुक्रमे पन आणि कण आहेत, म्हणून,



आ. ३-१५

परिणामी बिभ्रमिपा = फ ची बिभ्रमिपा - प ची बिभ्रमिपा  
 =  $र \times २ \Delta कगच$  -  $र \times २ \Delta कसच$   
 =  $र \times २ \Delta कघच$  = ब या परिणामी  
 बलाची बिभ्रमिपा

प, फ बलांच्या ब या परिणामी बलाच्या क्रियारंघेवरील कोणत्याही बिंदूभोवती प आणि फ यांच्या बिभ्रमिपा समान आणि विरुद्ध असतात, हे बरोल नक्कपद्धतीचा अवलंब करून सिद्ध करता येईल.

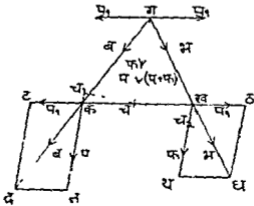
समांतर बलें

( parallel forces )

दोन समांतर बलाची कार्यदिशा एकच असल्यास त्यास सजातीय (like) समांतर बले म्हणतात परंतु त्यांच्या क्रियादिशा विरुद्ध असल्यास त्यास विजातीय समांतर (unlike parallel) बले म्हणतात. अनात्म बसूच्या 'क आणि ख या दोन बिंदूवर प आणि फ या समांतर सजातीय बलाची क्रिया होत असल्यास या सजातीय

वटाचे परिणामी बल पुढीलप्रमाणे निश्चित करता येते. व आणि ख येथे विरुद्ध दिशानी त्रिया करणारी दोन समान बले योजल्यास अनाम्य वस्तूची स्थिति बदलत नाही ही विरुद्ध समान बले प, प ने दाखवू आकृति सख्या ३-१६ पाहा क विरुद्ध त्रिया करणारी बले प, प ही अनुक्रमे वत आणि वट या रेयानी प्रतिरूपित केली आहेत तसेच ख विरुद्ध त्रिया करणारी बले क प ही अनुक्रमे खय आणि खठ या रेयानी प्रतिरूपित केली आहेत. समांतर भुजाच्या नियमाप्रमाणे, वत आणि वट याचे परिणामी व बल वद आहे आणि खय, खठ याचे परिणामी भ बल खघ आहे.

बलपारेष्यता प्रनियमाप्रमाणे वद आणि खघ ह्या रेयाच्या ग ह्या छेदन बिंदूत व आणि भ ही बले हलविल्यास, वस्तूवर होणाऱ्या त्या बलाच्या परिणामात परिवर्तन होत नाही ग येथे वट आणि वत याच्या समांतर दिशेत व बलाचे विघटन केल्यास, तसेच खठ आणि खघ याच्या समांतर दिशेत भ बलाचे विघटन केल्यास,



आवृत्ति सग्या ३-१६ मध्ये दाग्विस्त्याप्रमाणे  $p_1$  आणि  $p_2$  या समान आणि विरुद्ध बलांचे समतोलन होत. ग येथील  $p$  आणि  $f$  ह्या बलाची गच ही क्रियादिशा कठ आणि खच ला समांतर असते. यावजून,  $p$  आणि  $f$  यांचे परिणामी बल ( $p + f$ ) असून त्याची क्रियादिशा  $p$  आणि  $f$  यांच्या क्रियादिशांना समांतर असते.

$\Delta$  बदन आणि  $\Delta$  गच हे अनुपातिक (proportional) वाहते म्हणून,

$$\frac{\text{बल}}{\text{दल}} = \frac{\text{गच}}{\text{चक}}$$

$$\text{तसेच } \frac{p}{p_1} = \frac{\text{बल}}{\text{दल}} \text{ अग्न्यामुळे, } \frac{p}{p_1} = \frac{\text{गच}}{\text{चक}}$$

त्याचप्रमाणे  $\Delta$  खयष आणि  $\Delta$  खगच हे अनुपातिक असल्याने,

$$\frac{f}{p_1} = \frac{\text{गच}}{\text{चक}}$$

$$\text{यावरून, } \frac{p}{f} = \frac{\text{गच}}{\text{गच}} = \frac{\text{चल}}{\text{चक}}$$

$$\therefore \frac{p}{f} = \frac{\text{चल}}{\text{चक}}$$

परिणामीबलाची अर्हा ( $p+f$ ) असते आणि त्याची क्रियारेषा केवळ रेपेला बलाच्या प्रतीप अनुपातात (inverse proportion)

अंतरत. (internally) छेदते परिणामी बलाच्या गच या रेयेवरील फोणत्याहि बिंदूभोवती प, फ या बलाच्या विभ्रमिपा समान आणि विषद असतात आकृति सख्या ३-१६ मध्ये प आणि फ याच्या क्रिया रेखावर च<sub>१</sub>च<sub>२</sub> ही च मधून लवरेया वाढल्यान,

$$\begin{aligned} \text{प बलाची च भोवती विभ्रमिपा} &= \text{प} \times \text{चच}_1 \\ (\text{सख्यात्मक अर्हा}) &= \text{प} \times \text{चच} \times \text{ज्या} \angle \text{चकच}_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{फ बलाची च भोवती विभ्रमिपा} \\ (\text{सख्यात्मक अर्हा}) &= \text{फ} \times \text{चच}_2 \\ &= \text{फ} \times \text{खच} \times \text{ज्या} \angle \text{चखच}_2 \end{aligned}$$

प ची च भोवती विभ्रमिपा (सख्यात्मक अर्हा)

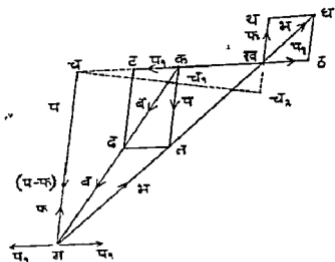
फ ची च भोवती विभ्रमिपा (सख्यात्मक अर्हा)

$$= \frac{\text{प} \times \text{चच} \times \text{ज्या} \angle \text{चकच}_1}{\text{फ} \times \text{खच} \times \text{ज्या} \angle \text{चखच}_2} = 1$$

$$\therefore \frac{\text{प}}{\text{फ}} = \frac{\text{खच}}{\text{चच}}$$

बरीलप्रमाणे परिणामी बलाची क्रियारेया फस रेपेस बलाच्या प्रतीप अनुपातात छेदते असे निद्व करता येईल

प आणि स येथील समांतर बले विजातीय असल्यास आकृति सख्या ३-१७ मध्ये दाखविण्याप्रमाणे कद आणि खघ बलाच्या क्रियारेयांचा छेदा बिंदु ग आहे व आणि भ बलांचा ग हा क्रियाबिंदु समजून त्या बलाचे भागे सांगितल्याप्रमाणे विषटन केण्यास, प आणि फ चे परिणामी बल (प-फ) होईल तमच,



आ ३-१७

$$\frac{p}{p_1} = \frac{\text{टद}}{\text{कट}} = \frac{\text{खग}}{\text{कच}} \quad \text{आणि} \quad \frac{q}{p_1} = \frac{\text{खथ}}{\text{थथ}} = \frac{\text{गच}}{\text{चस}}$$

$$\frac{p}{q} = \frac{\text{गच}}{\text{चस}} = \frac{\text{खच}}{\text{कच}} = \frac{p}{q}$$

यावन्न, (p - q) या परिणामी वलाची प्रियारेपा बस रेंवेन p आणि q वलाच्या प्रतीत अनुगतांत बाह्यत. (externally) छेइने

बैलजोडीने ओडगेला नांगर, कन्नर, गाडी इत्यादि समाउद वलाच्या उपयोगाची ध्यवहारार्तीत उदाहरणे आहेंत

दोनपेधा अधिः समातर बलाची क्रिया वस्तुवर होत अस-  
त्यास, प्रथम कोणत्याहि दोन बलांचे परिणामी बल वर दर्शविण्या-  
प्रमाणे निश्चित करावे नंतर हे परिणामी बल आणि उरलेल्या  
बलांपैकी तिमरे समातर बल या दोहोंचे परिणामी बल निश्चित  
करावे. अशा रीतीने प्रमाप्रमाने सर्व समातर बलांचे परिणामी बल  
निश्चित करता येते या परिणामी बलाची अर्हा सर्व समातर बलांच्या  
बैजिव योगाहतवी (sum) असते आणि या परिणामी बलाची  
क्रिया ज्या बिंदूवर होते त्या बिंदूत 'समातर बल केंद्र' (centre  
of parallel forces) म्हणतात. अनाम्य वस्तूची स्थिर स्थिति  
अथवा गति, या रावधीच्या विवेचनात त्या वस्तूवरील विविध  
समातर बलांना वेगवेगळ्या विचार न करता, समातर बल केंद्रावरील  
परिणामी बलाचाच विचार करतात

### भ्वाट्टि-केंद्र (centre of gravity)

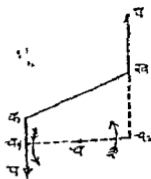
पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरील वस्तूच्या सर्व लवावर भ्वाट्टि-  
बलाची क्रिया होत असते. या सर्व बलांची दिशा अपोलम्ब असल्याने  
लवावरील या बलांचे परिणामी बल म्हणजेच वस्तूचा भार, त्या  
सर्व बलांच्या योगाहतवा असतो. लवावरील या सर्व बलांच्या  
समातर बल केंद्राम त्या वस्तूचे 'भ्वाट्टि-केंद्र' अशी राना नाहे या  
बिंदूवर भ्वाट्टि-बल केंद्रित आहे अने मानल्याने याद्विरीच्या  
अने प्रश्नांच्या विवेचनेत सुगमता येते

### बल मिथुन (couple)

प्रनाम्य वस्तूच्या दोन बिंदूवर दोन समाग समांतर विजानीय  
बलांची क्रिया होत असल्यास त्यांच्या परिणामी बलाची महत्ता  
(magnitude)  $(P - P) = 0$  असे या दोन समाग आणि  
समांतर विजानीय बलांचा 'मिथुन' होत असतो आहे मिथुनाच्या परिणामी



बलाची महत्ता मूल्य असल्याने, मियु-  
नाच्या क्रियेने वस्तूचे स्थानांतर होऊ  
शकत नाही तथापि मियुनाच्या तला-  
तील कोणत्याही बिंदूभोवती रसा  
अनाम्य वस्तूचे परिभ्रमण होऊ शकते  
हे पुढील विवेचनाद्वारे लक्षात येईल.  
आकृति ३-१८ (अ) मध्ये क,  
ख येथील प, प मियुनाच्या तलात  
च हा कोणत्याही बिंदू घ्या. बलाच्या  
क्रियारेषावर  $च_१$   $च_२$  लंब काढल्यास  
क, ख येथील बलाच्या च भोवती  
विभ्रमिपा प्रतिघटिवन् असतात.



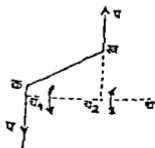
आ. ३-१८ (अ)

$$\begin{aligned} \text{या बलाची परिणामी विभ्रमिपा} &= प \times च_१ + प \times च_२ \\ &= प \times च_१ + च_२ \end{aligned}$$

तसेच, च बिंदू प, प' क्रिया रेषाच्या बाहेर आहे असे  
मानल्यास, आकृति मर्या ३-१८  
(आ) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे क, ख  
येथील बलाच्या च भोवती विभ्रमिपा  
अनुक्रमे प्रतिघटिवन् आणि घटिवत्  
असल्याने,

$$\begin{aligned} \text{परिणामी प्रतिघटिवन् विभ्रमिपा} &= प \times च_१ - प \times च_२ \\ &= प \times च_१ - च_२ \end{aligned}$$

$च_१$   $च_२$  हे बस येथील समान,  
समानर विजातीय बलाद्वारे लक्षान्तर



आ ३-१८ (आ)

आहे, यावरून मिथुनाच्या तलादील कोणत्याहि विदू-  
भोवती त्या मिथुनाचो विभ्रमिपा स्थिर असून या विभ्रमिपेची  
अर्हा (प × मिथुनातील बलाचे लवान्तर) इतकी असते या विभ्रमिपेला  
'मिथुन विभ्रमिपा' (moment of a couple) ही सजा आहे.  
ताक घुसळण्याच्यः रवीभोवती गुडाळलेल्या दोरीची दोन टोके विरुद्ध  
दिशानी ओढून, अथवा दोन्ही हाताच्या दोन विरुद्ध बलाच्या त्रियेने  
आपण मिथुनाचा रवीवर प्रयोग वरतो आणि ह्यामुळे रवीला  
परिभ्रमणाची गति मिळते

### संघर्ष (friction)

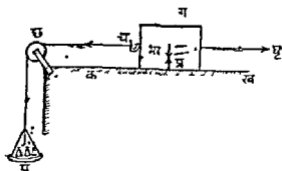
वस्तु शंतिजसमतलावर स्थिर असताना त्या वस्तूचो अधोग  
भार आणि समतलाची उदग्र प्रातक्रिया ही समतुलित असतात  
(आकृति सख्या ३-१९ पाहा) वस्तूला समतलावर घसरण्याची गति  
दिल्यास ती वस्तु काही अतरापर्यंत घसरत जाऊन स्थिर होते.  
यावरून, समतल आणि त्यावर घसरणारी वस्तु याच्या सापेक्ष  
गतीला विरोध करणारे बल त्या दोहोमधील संपर्शानि उत्पन्न होत  
असले पाहिजे हे लक्षात येईल घसरण्याच्या सापेक्ष गतीला विरोध  
करणाच्या या बलास 'संघर्षबल' ही सजा आहे या बलाची त्रियारेया  
समतलाची समांतर आणि गतीच्या विरुद्ध दिशेंत असते

संघर्ष बलाचा विन्तारपूर्वेक अभ्यास पुढील सपरीक्षेने करता



येतो. कस या समतलावर ग ही वस्तु ठेवली असून तिला बाघलेला चढ दौरा समतलाला ममांतर असून दोऱ्याचा छप भाग छ या सघर्षहोन आकृपीवरन (pulley) अधोलंब सोडलेला असतो. आकृति ३-२० पाहा. प पारडघात  $v_1$  मार टाकल्यास,  $(v_1 \times \mu)$  या भारवलाने ग वस्तु आकृपीवरडे ओडली जाते. समजा या स्थितीत वस्तु स्थिर असल्यास, वस्तूवरील सघर्षबल,  $\phi_1 = v_1 \times \mu$ . पारडघातील मार क्रमाक्रमाने वाढवून गेल्यास या भाराच्या एका विशिष्ट मर्यादित मर्यादेपर्यंत ग वस्तु स्थिरच असते मात्र या विशिष्ट मर्यादेपेक्षा पारडघातील भाराचा अर्हा थोडीशी वाढल्यास, ग वस्तूला वर समतलावर घसरण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न होते. क्रमाक्रमाने वाढलेल्या,  $v_1, v_2, v_3$  या भारवलाने वस्तूत गति उत्पन्न होत नसल्याने,  $v_1, v_2, v_3$  यांच्या भारवलाशी सघर्षबलाचा असणारा संबंध पुढे दर्शविल्याप्रमाणे असला पाहिजे.

$v_1 \cdot \mu = \phi_1, v_2 \cdot \mu = \phi_2, v_3 \cdot \mu = \phi_3; v \cdot \mu = \phi;$   
यावरून, गतिविरोध सघर्षबल स्वयं-व्यवस्थापी (self-adjusting) आहे असे दिसून येईल.



य  $\times$  भू = घृ हा समीकार व च्या विशिष्ट मर्यादितपर्यंतच सत्य आहे ही विशिष्ट मर्यादा व' ने दर्शविल्यास,

$$व' \cdot भू = घृ$$

पारहघातील भार व' पेक्षा जास्त वाढल्यास ग वस्तूत गति उत्पन्न करणाऱ्या या वाढत्या भारवलाचे समतोलन होण्याइतके सघर्षबल वाढत नाही, म्हणून सघर्षबलाची वरील समीकारातील घृ ही महत्तम अर्हा होय. या महत्तम सघर्षबलाला 'सीमान्त सघर्षबल' (limiting friction) म्हणतात. आणि याची अर्हा वस्तु आणि समतल यांच्या मस्पर्शित तलाच्या गुळगुळीतपणावर अवलंबून असते.

ग वस्तूवर भा<sub>१</sub>, भा<sub>२</sub> इत्यादि भार टेवून वरीलप्रमाणे संपरीक्षा करून सीमान्त सघर्ष बलाच्या निश्चित केलेल्या अर्हा अनुक्रमे प<sub>१</sub>, प<sub>२</sub>... असल्यास, आणि समतलाची उदग्र प्रतिनिया अनुक्रमे प्र<sub>१</sub>, प्र<sub>२</sub> ..... इत्यादीने दर्शविल्यास,

$$\frac{प_१}{प्र_१} = \frac{प_२}{प्र_२} = \frac{प_३}{प्र_३} = \dots = \mu$$

रिवा,  $\frac{\text{सीमान्त सघर्षबल}}{\text{प्रतिनिया}} = \mu$

$\mu$  ला 'सघर्ष गुणक' (coefficient of friction) ही संज्ञा आहे  $\mu$  ची अर्हा मस्पर्शित तलाच्या शोषकळावर अवलंबून नसते समतलाची प्रतिनिया = ग वस्तू वर आणि त्यावरील भाराचे भारबल,

$$\text{यावरून, } \frac{\text{सीमान्त सघर्षबल}}{\text{वस्तूचे व त्यावरील भाराचे भारबल}} = \mu$$

या सूत्राद्वारे  $\mu$  च्या अर्थ व मूल्य करतात

### अभिनत समतल (inclined plane)

कम या अभिनत समतलाचा धंतिज तलाशी असतारा कोन  $\alpha$  ने दर्शविला आहे (आकृति ३-२१ पाहा) या समतलावर ग वस्तु स्थिर असल्यास, त्या वस्तूच्या भाराचे अधोप वल ना, समतलाची अभिलव प्रतिक्रिया प्र आणि सघर्ष बल प्र यांचे समतोलन होत म्हणून तलाशी समतल आणि अभिलव या दोन दिशात भा वलाने विघटन केल्यास,

$$\text{भा वंग्या } (\alpha) = \text{प्र}$$

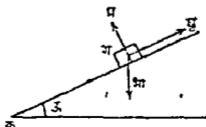
$$\text{भा ग्या } (\alpha) = \text{प्र}$$

यस्य समतलाचा धंतिज पातळीशी होणारा कोन क्रमापमाने वाढवित असताना या कोनाची अर्हा एका विशिष्ट मर्यादेच्या आत असल्यास, वस्तु स्थिर असते कोनाची अर्हा या मर्यादेपेक्षा जास्त केल्यास, ग वस्तु कम वस्तू साली घनक लागते. या स्थितीत अभिनत समतलाचा धंतिजतलाशी कोन  $\alpha'$  असल्यास,

$$\text{भा ग्या } (\alpha') = \text{प्र}', \text{ मीमान्त सघर्ष बल}$$

$$\text{भा वंग्या } (\alpha') = \text{प्र}', \text{ प्रतिक्रिया बल}$$

$$\therefore \text{प्र}'/\text{प्र}' = \text{स्वग्या } (\alpha') = \text{क} = \text{सघर्ष गुणक}$$



ऊ कोनाची अर्हा ऊ' पेक्षा जास्त वाढवून ती  $\frac{1}{2}$  केल्यास, [भा  $\times$  ज्या ( $\frac{1}{2}$ )-घृ'] या बलाच्या त्वरण गतीने ग वस्तु अमिनत समतलावरून खाली घसरते वस्तुतः प्रत्यक्ष गति उत्पन्न झाल्यावर गतिविरोधी सघर्षबल (sliding friction) सीमान्त सघर्षबलापेक्षा थोडे न्यून असते घसरण्याच्या गतीला विरोध करणाऱ्या सघर्षबलापेक्षा परिभ्रमणाच्या गतीला विरोध करणार सघर्षबल (rolling friction) बरेच अल्प असते

### १. बलांची समतोल-स्थिति

(conditions of equilibrium of forces)

लवाची परिमा अल्प असल्यामुळे त्यावरील वेगवेगळ्या बलाचा त्रिया-त्रिदु एकच असतो, लवावरील बलांचे समतोलन पुढील स्थितीत होते

(१) लवावर त्रिया करणाऱ्या दोन बलांच्या अर्ही समान असून त्याची क्रियारेषा एक असून दिशा विरुद्ध असल्यास ही बले समतुलित असतात

(२) लवावर त्रिया करणाऱ्या तीन बलांचे प्रतिरूपण महत्तंत आणि दिशेंत चक्र क्रमशः त्रिकोणाच्या तीन भुजांनी करता आल्यास ती बल समतुलित असतात.

(३) लवावर त्रिया करणाऱ्या तीन पेक्षा जास्त बलांचे प्रतिरूपण महत्तंत आणि चक्रक्रमशः बहुभुजाच्या (polygon) भुजांनी करता आल्यास, ही बले समतुलित असतात

अनाम्य वस्तूवरील निरनिराळ्या बिंदूवर त्रिया करणाऱ्या बलांच्या समतोलनास पुढील स्थिति आवश्यक आहे

अनाम्य वस्तुवरील वेगवेगळ्या बलांच्या क्रियारेषा मगामी (concurrent) असल्यास, त्यावरील बलांचे समतोलन बर दर्शविलेल्या (१), (२) आणि (३) या स्थितीत होते. अनाम्य वस्तुवरील बलांच्या क्रियारेषा समांतर असल्यास त्या समांतर बलांचे, (अ) परिणामी बल शून्य असावे; (आ) आणि या समांतर बलांमुळे मिथुन उत्पन्न होऊं नये. कारण मिथुनाने अनाम्य वस्तूत परिभ्रमणाची गति उत्पन्न होते. यावन्न, अनाम्य वस्तूत बलांच्या प्रयोगाने स्थानांतर आणि परिभ्रमण होत नसल्यास (१) अनाम्य वस्तुवरील सर्व बलांचे परिणामी बल शून्य असली पाहिजे; त्याचप्रमाणे (२) त्या बलाची कोणत्याहि विदूभोवती परिणामी विभ्रमिषा शून्य असली पाहिजे. हे प्रतिबंध (conditions) पुढील प्रमाणे दर्शविता येतात.

कोणत्याहि तीन परस्पर लंब अक्षांपैकी प्रत्येक अक्षावरील बलांच्या घटकाचा वैजिक योग (algebraic sum) शून्य असला पाहिजे आणि कोणत्याहि विदूभोवती त्या बलांच्या विभ्रमिषाचा वैजिक योग शून्य असला पाहिजे.

### यंत्रे (machines)

एका वस्तूच्या साहाय्याने अथवा वस्तुसमूहाच्या विशिष्ट रचनेमुळे काम बरपे सुकर झाल्यास त्या वस्तूला अथवा वस्तुसमूहाला भौतिकीत यंत्र (machine) ही मजा आहे. दुर्घट वाटणारी कामे, तशीच नित्याच्या व्यवहाराने कामे सुकर व्हावी असा प्रयत्न मनुष्य अनादि काळापासून करीत आहे. आधुनिक यंत्रमाश्री ही वस्तूची मागील दनवातोल या प्रयत्नाचेच फळ आहे.

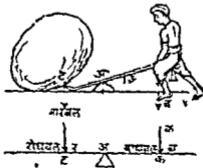
शेवटसारखी आश्चर्यजनक कामे करणाऱ्या यंत्रापासून तो मुपारी

प्याच्या अडकित्यासारख्या साध्या यंत्राचाहि आजच्या व्यवहारात उपयोग नित्यच करण्यात येतो या सव यशात कर्म करताना उपयोगात आणलेल वल आणि यशाच्या जुळणीमुळे चालेले उपयुक्त कर्म याचे काही सर्वसामान्य सवध असतात ह सवध साध्या यशातील जुळणीच्या पुढील विवेचनावरून लक्षात येतील

### उद्याम (lever)

फार मोठा दगड अथवा लावडाचा आडवा ट्याद्रि जड वस्तूच स्थानांतर करणे असल्यास त्या वस्तूखाली पहारी सारखा जाड लोखंडी दड घालतात जड वस्तूवडील दडाच्या टावाजवळील भाग अ येतील अनाम्य वस्तूवर टेंकून दडाच्या दुसऱ्या टोकाजवळ बलाचा प्रयोग करून ती वस्तू उचलतात ह पुष्कळानी पाहिजे असेल

आकृति मध्या ३-२२ पाहा जडवस्तूच्या भारबलाची र ही अर्हा व बाह्यबलाच्या अहेपेगा बरोच जास्त असते दण्डाच्या समतोल स्थितीन अ भावती व आणि र या बलाच्या विममिपा





अनुक्रमे घटिवन् आणि अनिघटिवत् जमून त्यांच्या अर्धां ममान अमनात

$$व \times अक = र \times अट$$

$$\therefore \frac{र}{व} = \frac{अक}{अट}$$

र भाराची जड वस्तू तिच्या भारवटाच्या मानाने लहान जम-लेल्या व वलाने हालविता येते. यावरून, अनाम्य वस्तु आणि तिच्यावर टिकलेला लोखंडी दंड याच्या जुळणीला यत्र म्हणता येईल. दंडाच्या वरील प्रकाराला 'उद्याम' (lever) ही संज्ञा आहे.

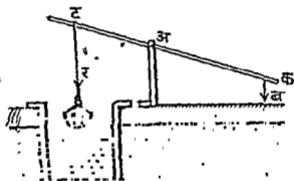
जेव्हा वाह्य बलाच्या प्रयोगाने यत्र कर्म करत त्यास 'प्रयासबल' (effort) म्हणतात, आणि उद्यामाच्या अ या स्थिर बिंदूम 'स्वभा' (fulcrum) म्हणतात  $\frac{र (रोधबल)}{व (प्रयासबल)}$  या निष्पत्तीला 'यांत्रिक लाभ' (mechanical advantage) ही संज्ञा आहे. र रोधबलाच्या (resistance) क्रियाबिंदूचे र च्या विरुद्ध दिशेत विन्यापन झाल्यास, (रोधबल  $\times$  रोधबलाच्या क्रियाबिंदूचे विरुद्ध दिशेतील विन्यापन) यां गुणनफलाने यत्राने केलेले कर्म दर्शवितात

उद्यामाच्या या प्रथम प्रकारात प्रयासबल व आणि रोधबल र हीं ममांतर मजातीय बले असून या बलाच्या क्रियाबिंदूमध्ये स्वभेचे स्थान असे असते की, अट पेक्षा अक अंतर जास्त असते.

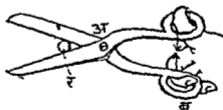
$$\frac{र}{व} = \frac{अक}{अट} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

अक हे अंतर वाढवून अथवा जट अंतर कमी करून, टजव दण्ड अनाम्य अमन्यानी यांत्रिकलाभाची अर्धां वरील वाडविता येते

उथळ विहिरीतून पाणी काढण्याच्या डेवलीच कार्ये प्रथम प्रकाराच्या उद्यामाला अनुसरून असून यांत्रिक लाभाचाहि उपयोग मात केलेला आढळतो आकृति ३-२३ (अ) पाहा कात्री याच प्रकारच्या जोड-उद्यामाच उदाहरण आहे आकृति ३-२३ (आ) पाहा



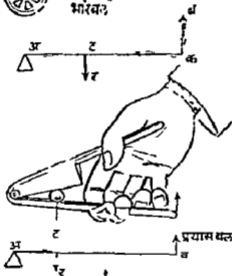
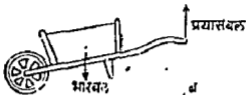
आ ३-२३ (अ)



आ ३-२३ (आ)

उद्यामाच्या दुसऱ्या प्रकारात (आकृति मध्या ३-२४ आणि ३-२५ पाहा) रोधबल र आणि प्रयासबल व ही अ स्क्रमेच्या एकाच वडेली असतात प्रयामबलाच्या त्रिया बिन्दूच अ पामून अतर

बा. ३-२४

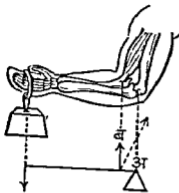


बा. १-२५

रोधवलाचा प्रियावित्तु आणि रूभा या दोहोनील अतरापेला जान्त वमतं, म्हणजेच अक > अट. या प्रकारातील उद्यामाचा

$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{\text{रोधवल}}{\text{प्रयासबल}} = \frac{र}{व} = \frac{\text{अक}}{\text{अट}}$$

नामानाची हानगाडी हे दुसऱ्या प्रकारच्या उद्यामाचे उदाहरण आहे तसेच बडबिता हा दुसऱ्या प्रकारचा जोड-उद्याम आहे.



भारबल

दा. ३-२६

आपल्या प्रवाहूची (कोपरा पलीकडील हाताचा भाग forearm) क्रिया ही तिसऱ्या प्रकारच्या उद्यामाच्या प्रनियमाने होते.

चक्र (wheel) आणि अक्षदण्ड (axle)

आकृति सख्या ३-२७ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दोन वळकट दोर चक्र आणि अक्षदण्ड यावर उलट दिशानी गुडाळलेले आहेत. अक्षदण्डावर गुडाळलेल्या दोराच्या टोकाला अडकविलेल्या वस्तूचे भारबल र ने दर्शविले आहे. चक्रावरील दोराच्या टोकावर ब हे अधोगत बल असल्यास, समतुलित स्थितीत ब ची अक्षाभोवतीची विभ्रमिपा प्रतिघटिवत् असून र बलाची अक्षाभोवतीची विभ्रमिपा घटिवत् असते. समतुलित स्थितीत या विभ्रमिपाच्या अर्हा समान असतात.

उद्यामाच्या तिसऱ्या प्रकारात प्रयासबल आणि रोधबल स्कंभेच्या एकाच कडेला असून प्रयासबल हे रोधबलापेक्षा स्कंभेजवळ असल्याने अक < अट. (आकृति ३-२६ पाहा).

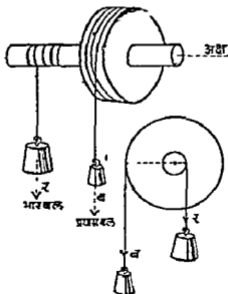
$$\text{यांत्रिक लाभ} = \frac{र}{ब} = \frac{\text{अक}}{\text{अट}} < १$$

या उद्यामात यांत्रिक लाभाची अर्हा १ पेक्षा न्यून असली तरी कित्येक यंत्रातील जुळणीत या उद्यामाचा उपयोग जास्त सोयीचा असतो.

यावरून,  $w \times$  चत्राची त्रिज्या  $= r \times$  अक्षदंडाची त्रिज्या.

$$\therefore \frac{r}{w} = \frac{\text{चत्राची त्रिज्या}}{\text{अक्षदंडाचा त्रिज्या}} = \text{यांत्रिक लाभ.}$$

व ह्या योग्य बलाने चत्रावरील दोर खाली ओढल्यास व पेशा जास्त भारवलाची वस्तू वर ओढली जाते. विहिरीतून पाणी काढण्याच्या हातरहाटात व बलाची क्रिया रहाटाच्या दोन दोरावरील लाव आल्यावर हाताने करतात आणि अक्षदंडाजवळील अक्षाला समांतर असणाऱ्या आडव्या लाकडावर वादलीचा दोर गुंडाळला जातो.





आ ३-२८

आत्मवहाचे गर चालू करतांना जो कुंपर हस्तक (crank-handle) उपयोगात आणतात त्यातहि चक्र आणि अक्षदंड यातील यांत्रिक लाभाचा उपयोग करतात

### आकृषि (pulley)

आकृषि सरया ३-२८ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे आकृषीची चौकट स्थिर वसविलेली आहे आकृषीवरून नेलेल्या दोराच्या एका टोकास असलेले रोषवल र

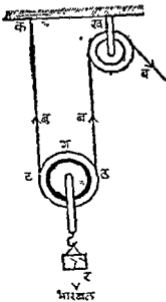
आणि ओढलेल्या दोराचे आतति-वल (tension) ब याच्या समतोलनात

$$ब = र$$

$$\text{आकृषीतील यांत्रिकलाभ} = \frac{र}{ब}$$

$$= १$$

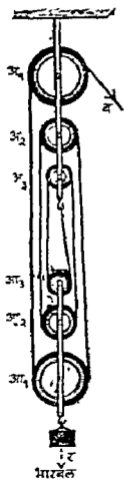
आकृषीच्या उपयोगात यांत्रिकलाभ नसला तरी बरं करणाऱ्या ब वलाची दिशा जास्त सोयीची अन्नु शकते विहिरीतून हातानी दोर वर ओढून पाणी काढण्यापेक्षा खिराडीच्या साहाय्याने पाणी बका ने जास्त सोयीचे असत.



आ ३-२९

मुक्त आकृषीच्या उपयोगात

य येथे वळकट दोर फक्त बायन ग मुक्त आहृपीसालून त्या दोराचे टोक वर बसविल्या स आहृपीवस्तुन आणट्यां जसुने. आहृति मध्या



आ. ३-३०

३-२९ पाहा या रचनेत ग आहृपी मुक्त असून ती वर घागे जाऊ शकते. वर उचतावपाची जड वस्तु मुक्त आहृपीच्या घोंटीला अडविल्यात. दोराची क, ग ही टोके स्वतंत्रपणे अडवून दोराच्या वट आणि मूठ या दोन्ही भागावरील आतड्यां ब ममान आहे हे दाखविता येते. हा हे आहृपीचे भारवस्तु असून, जडवस्तुचे भारवस्तु र असल्यास,

$$२ व = र + श$$

आहृपीचे श हे भारवस्तु असे असल्यामुळे ते उपेक्षून,

$$\frac{२}{व} = २ = यांत्रिक लाभ.$$

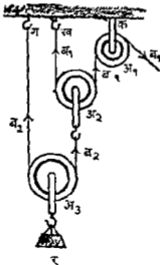
आहृति ३-३० मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अ<sub>१</sub>, अ<sub>२</sub>, अ<sub>३</sub> या आहृपी एका, अनाम्य चौकटीला पक्क्या बसविल्या असून त्यांचा एक आहृपिमच केलेला आहे आ<sub>१</sub>, आ<sub>२</sub>, आ<sub>३</sub> या आहृपीचा दुसरा एक सच आहे एकच दार सर्व आहृपीवस्तुनेला असून त्याच्या निरनिराळ्या भागावरील आतड्यां ब ने दर्शविल्यास, आहृपीचे भारवस्तु उपेक्षून,

$$r = 6 \text{ व}$$

$$\therefore \frac{r}{v_1} = 6 = \text{यांत्रिकलाभ}$$

दोन्ही सचातील आकृपीची सरत्या स ने दर्शविल्यास,  
यांत्रिक लाभ = स

आकृति सरत्या ३-३१ मधील आकृपीच्या रचनेत अ<sub>२</sub> आणि अ<sub>३</sub> यांचे दोर अनुक्रमे स आणि ग येथे पक्के बांधलेले आहेत. अ<sub>३</sub> आकृपीखालून जाणाऱ्या दोराचे दुसरे टोक अ<sub>२</sub> आकृपीच्या चौवटीला बडकविले आहे तसेच अ<sub>२</sub> आकृपीखालून जाणाऱ्या दोराचे दुसरे टोक अ<sub>१</sub> या स्थिर आकृपीवस्तुन खाली सोडले जाई या यंत्ररचनेतील यांत्रिक-लाभाचा अर्हा खालील समीकारावस्तुन वाढता येते



आ ३-३१



$$\begin{aligned}
 r + \sin \alpha_2 &= 2 v_2 & (\sin \alpha_2 \text{ हा } a_2 \text{ आकृषीचा भार आहे)} \\
 v_2 + \sin \alpha_2 &= 2 v_1 & (\sin \alpha_2 \text{ हा } a_2 \text{ आकृषीचा भार आहे)} \\
 & & (\sin \alpha_2 \text{ आणि } \sin \alpha_1 \text{ उभेदून,)}
 \end{aligned}$$

$$\therefore r = 2v_2 = 2^2 v_1$$

मुक्त आकृषीची संख्या न अनन्याय,

$$\frac{r}{v} = 2^2 = \text{यांत्रिक लाभ}$$

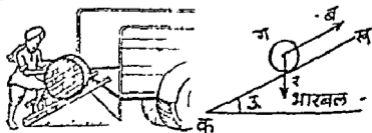
### अभिनत समतल (inclined plane)

आकृति ३-३२ मध्ये दर्शविलेल्या वळ या सघर्षहीन समतला वर न वस्तु स्थिर ठेवण्यास लागणारे बल,

$$w = \text{वस्तूचे भारबल, } (r) \times \text{ज्या } \alpha$$

$$\text{यावरून, } \frac{r}{v} = \frac{1}{\text{ज्या } (\alpha)} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

अभिनत समतलाचा उपयोग गाडीत रभाकार ठवे चढविण्यांत करतात. उद्याम, आकृषि इत्यादीच्या विवेचनातील यांत्रिकलाभाची सूत्रे, रोखबळ  $r$  आणि प्रयाग बळ  $v$  यांच्या समतोल स्थितीतच संप



भाहेत. वाह्य बल व थोडें वाढवित्याने यत्राचे निरनिराळे भाग गतिमान होऊन यत्राद्वारे कम होऊ लागल्यास उर्जास्थिरतेच्या प्रनियमानुसार,

यत्रावर वाह्य बलाने केलेल्या कर्मांची अर्हा = यत्रातील घर्षण-बलाविरुद्ध केलेले कर्म + र विरोधी-बलाविरुद्ध केलेले उपयुक्त कर्म

यत्र कर्म करीत असताना त्याच्या यांत्रिक लाभाची गणना केल्यास, ती समतोल-स्थितीतील यांत्रिकलाभापेक्षा न्यून असते हे पुढील उदाहरणावरून लक्षात येईल चक्र आणि अक्षदण्ड याच्या उदाहरणात चक्राच्या एका परिभ्रमणात वाह्यबलाने केलेले

$$\begin{aligned} \text{कर्म} &= v \times r \text{ प्या} \times \text{चक्राची त्रिज्या} \\ &= r \text{ बलाविरुद्ध केलेले कर्म} + \text{सघर्ष बलाविरुद्ध कर्म} \\ &= r \times r \text{ प्या} \times \text{अक्षदंडाची त्रिज्या} + \text{सघर्ष बला विरुद्ध कर्म} \end{aligned}$$

यावरून,  $\frac{r}{v}$  ही निष्पत्ति  $\frac{\text{चक्राची त्रिज्या}}{\text{अक्षदंडाची त्रिज्या}}$  यापेक्षा न्यून आहे हे स्पष्ट आहे.

अभिन्नत समतल सघर्षहीन नसल्यास व बलाने र भारबलाची वस्तु कल मार्गे लोटीत अथवा ओडीत वर नेल्यास,

$$v \times कल = r \times ज्या ऊ \times कल + कल \text{ विस्थापनातील}$$

[सघर्ष बलाविरुद्ध केलेले कर्म

$$\therefore \frac{r (\text{भारबल})}{v (\text{प्रवासबल})} = \frac{r}{ज्या (ऊ)} - \frac{\text{सघर्षबलाविरुद्ध केलेले कर्म}}{v \times कल \times ज्या ऊ}$$

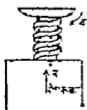
म्हणून गति-स्थितीतील यांत्रिक लाभ  $\frac{1}{\text{ज्या } 5}$  पेक्षा न्यून आहे सघर्षत्रल उपेक्षणीय कमलयास यंत्राद्वारे कर्म होत असताना यांत्रिक लाभाची अर्हा यंत्राच्या स्थिरस्थितीतील यांत्रिक लाभाच्या अर्हेइतकीच असते.

उपयुक्त कर्म  
यंत्रावरील व्यय करणं कर्म या निष्पत्तीला यंत्राची 'कार्यनिष्पत्ति' (efficiency of a machine) ही संज्ञा आहे बरोल विवेचना-बद्दल यंत्राच्या कार्यनिष्पत्तीची महत्तम अर्हा १ असून, ही महत्तम अर्हा वेदळ सघर्षशून्य यंत्रातच शक्य आहे असत दिमून येईल सघर्ष-शून्य यंत्र निर्माण करण शक्य नसल्याने, प्रत्यक्ष व्यवहारातील यंत्राची कार्यनिष्पत्ती १ पेक्षा न्यून असते यंत्राच्या साहाय्याने ऊर्जेचा लाभ (gain of energy) होणं शक्य नाही तथापि सीजरीयाच्या दृष्टीन र या मोठ्या बलापेक्षा व या लहान बलाने कर्म करिता येत हाच अनुभव यांत्रिक लाभाच्या गणनेत समाविष्ट केलेला आहे

### भ्रमि

भ्रमीच्या परिभ्रमणाने कर्म करणाऱ्या यंत्राने अभिनत समतलाच्या प्रतियमाचा उपयाग केलेला असतो भ्रमिदोरीच्या परिधीला अनुस्पर्शी असलेल्या व बलाने (आवृत्ति संख्या २-३३ पाहा)

३



आ २-३३

भ्रमीच पूण परिभ्रमण केल्यास,

भ्रमावरील कर्म =  $r \times 2$  प्या  $\pi$ =  $r$  (राधबल)  $\times$  भ्रमीचा अंतराल.

$$\frac{r}{R} = \frac{2 \text{ प्या } \pi}{\text{भ्रमाचा अंतराल}} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

$\pi$  ही भ्रमिदोरीची जिज्या आहे  $\pi$  वाडवून आणि भ्रमीचा अंतराल अल्प बद्दल यांत्रिक लाभ

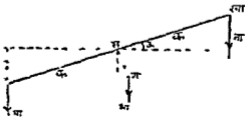
बराब मोठा करता येतो आत्मवहासारच्या जड वस्तु भूमोपामून थोड्या उब उचलावयाच्या असल्यास भ्रमि उत्थापाने (screw jack) हें काम सहज करता येत

भ्रमीच्या मूत्रावरील सघपंथल बरेच असल्यामुळे भ्रमि-उत्थाप इत्यादि यंत्राची कार्यनिष्पत्ति थल्प असते

आधुनिक युगातील जटिल (complex) यंत्रातहि वर वर्णिल्यासारख्या अनेक साध्या यंत्राची जुळणी वेलेली असते उदाहरणार्थ टबलेखन यंत्रातील टक उद्यामानेच हालविणे जातात आत्मवहाच्या अरिचक्रात (steering wheel) चक्र आणि अक्षदण्डाच्या प्रनियमाचा उपयोग वेलेला आहे

### म्हाधी तुला (simple balance)

साध्या तुलात पहिल्या प्रकारच्या उद्यामातील प्रनियमाचा उपयोग वेलेला आहे काखा या दण्डाच्या मध्यावर क्षुरिधारा (knife edge) बसविली असून ही क्षुरिधारा एका गुळगुळीत तलावर स येथे ठेवलेली असते (आकृति सख्या ३-३४ पाहा) क्षुरिधारतून जाणाऱ्या अक्षामावती काखा दण्ड उदग्रतलात फिरू शकतो काखा दण्डाच्या दोन टोकास समान भाराची पारडी बडबविली असतात दण्ड आणि त्याच्या मध्यावर लंबदिर्घत



जांडलेला देष्टा (pointer) याचे भ्वाकृष्टि केंद्र ग हे स खाली असते. समजा पा आणि ता या असमान भारानी दण्ड क्षैतिज तलाशीं ऊ व्याकोचन कोन करून स्थिर आहे या स्थितीत स स्क्रमेभोवती वलाच्या विभ्रमिपा घेतल्यास, प्रतिघटिवत् विभ्रमिपा आणि घटिवन् विभ्रमिपा याचा समीकार खालीलप्रमाणे माडता येईल.

$$पा \times क \times कोज्या \text{ ऊ} = ता \times क \times कोज्या \text{ ऊ} + भा \times सग \times ज्या \text{ ऊ}$$

$$\text{यात, } क = \frac{\text{वास्तु}}{२}; \text{ दण्ड आणि देष्टा याचा भार} = भा$$

$$\therefore (पा - ता) \times क \times कोज्या \text{ ऊ} = भा \times सग \times (ज्या \text{ ऊ})$$

$$\therefore \frac{(पा - ता) \times क}{भा \times सग} = सज्या \text{ ऊ}$$

(१) तुलेच्या दोन भुजांचा आयाम समान असून दोन्ही पारदधाचा भार समान असल्यास तुला सत्य (true) आहे असे म्हणतात, आणि अशा स्थितीत तुलेचा दण्ड क्षैतिज तलात स्थिर असतो

(२) पा आणि ता यामधील अल्पभेदाने दण्डाच्या व्याकोचित स्थितीतील कोन जास्त झाल्यास तुला हूप स्वरूपाची (sensitive) आहे असे म्हणतात जास्त लांबीचा आणि लहान पुजाचा दण्ड उपयोगात आणून, तसेच ग या भ्वाकृष्टिकेंद्राचे स पामून सग हे अंतर अल्प करून तुलेची हूपता वाढविता येते

सोलण्याच्या त्रियत पा = ता असताना, भा  $\times$  सग  $\times$  ज्या (ऊ) या प्रतिस्थापण (restoring) विभ्रमिपेची अर्हा जास्त असल्यास, व्याकोचित दण्ड क्षैतिज तलात लचकर येईल, कारण सा = ता असल्या-

मुळे त्याच्या स भोंवतीच्या बल विभ्रमिपाचे समतोलन होऊन भा  $\times$  सग  $\times$  ज्या (ऊ) या परिणामी विभ्रमिपेची दण्डावर त्रिया होणे. दोन्ही पारड्यातील भार समान असताना क्षैतिज तलात लवकर स्थिर होणारी तुला 'स्थायी' (stable) आहे असे म्हणण्याचा प्रघात आहे. तुलेची स्थायिता (stability) वाढविण्याकरिता दण्डाचा पुज जास्त असावा आणि सग हे अंतर जास्त असावे.

वरील विवेचनावरून हृपता आणि स्थायिता हे तुलेचे गुण परस्पर विरुद्ध दिसतात स्थायी तुलेने वस्तूचा भार निश्चित करिताना दोन पारड्यातील भार समान आहेत अथवा असमान आहेत हे लवकर कळते म्हणून नित्याच्या व्यवहारात स्थायी तुला जास्त उपयोगी आहे. शास्त्रीय सशोधनातील पुज मापनात परिशुद्धता येण्याकरिता तुला हृप असावी लागते. तुलेच्या दण्डाचा पुज आणि त्याची लांबी इत्यादीची योग्य निवड (choice) केल्याने तुलेत हृपता जास्त किंवा जास्त स्थायिता तिच्या उपयोगानुरूप साधता येणे.

# तरल स्थैतिकी

## मान्द्र आणि तरल

**सा**न्द्र वस्तु एका पात्रातून काढून दुसऱ्या पात्रात ठेवल्यास मान्द्राच्या आकारात आणि परिमते काहीच परिवर्तन होत नाही तरल अथवा वाति वस्तूचा आकार ती ज्या पात्रात ठेवलेली असते त्या पात्रावर अवलंबून अमतो निपीडात परिवर्तन न झाल्यास तरलाची अथवा वातीची परिमा स्थिर असते आणि पात्रातील तरलाची परिमा मुक्त पृष्ठाने मर्यादित असते.

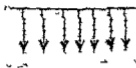
तरलाचा आकार पात्रानुरूप बदलतो, यावस्तु तरलाच्या व्यूहाणूचे परस्पर सापेक्ष विस्थापन होऊ शकते, अस दिवते. हे सापेक्ष विस्थापन होण्यास व्यूहाणूचे परस्परातील सलागी बल (cohesive force) अल्प असले पाहिजे असे अनुमान करता येते.

तरलाचा मुक्त पृष्ठ क्षैतिज तलातच अमतो, याचे स्पष्टीकरण पुढीलप्रमाणे देता येईल तरलाच्या मुक्त पृष्ठाचा एक भाग आकृति ४-१ मध्ये क येथे दर्शविल्याप्रमाणे अभिनत असल्यास तेथील



आ ४-१

तरलाच्या भारबलाचा अभिनत तरल पृष्ठाशी समांतर असणारा विघटक अधोगत असतो या अधोगत विघटकामुळे क येथील व्यूहाणूच्या सापेक्ष विस्थापनाला विरोध करणारे सलागी बल अल्प असल्याने, अभिनत घरातील व्यूहाणूत खाली सरकण्याची समूह-गति निर्माण होईल अर्थात्, अभिनत पृष्ठ असणारा तरल



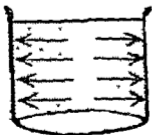
आ ४-२

विश्राम स्थितीत राहणें शक्य नाही; दुसऱ्या शब्दात सागावयाचें म्हणजे विश्राम स्थितीत तरलाचा मुक्त पृष्ठ क्षैतिज तलानच असला पाहिजे. तसेच तरलाच्या मुक्त पृष्ठातील कोणत्याहि बिंदूवर, आकृति ४-२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अभिलव

दिशेंतच प्रिया करणारे बल सभबते हे लक्षात घेईल. (तरलातति प्र. ५ चे पाहा.)

विश्राम स्थितीतील तरलात सान्द्र पदार्थाचा पृष्ठ बुडलेला असतांना त्या पृष्ठावरील बलाची दिशा पृष्ठाला अभिलव असते, कारण हे बल पृष्ठाला अभिनत दिशेंत असल्यास साद्र पृष्ठाचे तरलावरील प्रतिक्रिया-बलहि पृष्ठाला अभिनत विरुद्ध दिशेंत असेल. या अभिनत प्रतिक्रिया-बलाच्या विघटकाने तरलात साद्र पृष्ठावरून घसरण्याची गति उत्पन्न होऊन तरलाच्या विश्राम स्थितीचा भंग होईल. तरलात असलेल्या सान्द्राच्या पृष्ठावरील बलाची दिशा आकृति ४-३ (अ) आणि (आ) मध्ये वाणाने दर्शविली आहे.

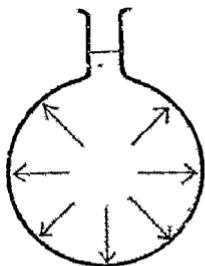
घनता ( density )



आ. ४-३ (अ)

निरतिराल्ठ्या साद्र द्रव्यांच्या समान परिमा असलेल्या वस्तूचे भार भिन्न असतात. समान परिमा असलेल्या तरल द्रव्याचे भारहि भिन्न असतात वस्तूचा पुज पु आणि तिची परिमा प ने दर्शविल्याम,  $\frac{\text{वस्तूचा पुज (प)}}{\text{वस्तूची परिमा (प)}}$





आ. ४-३ (आ)

करता येईल घनता ही वस्तुद्रव्याची विशिष्ट राक्षणिक राशी आहे असा निष्कर्ष संपरीक्षेवरून सिद्ध झालेला आहे

लॉड रॅले याना संपरीक्षेवरून अम आढळून आले की वातावरणातील जारव (oxygen), प्राणार-द्वि-जारव (carbon-dioxide), प्रवाण (water vapour) इत्यादि वाढून टाकून, उरलेल्या वायूची घनता मापल्याम, ही घनता प्रयोगशाळेंतील रसायनिक त्रियेने मिळालेल्या भूयातीच्या (nitrogen) घातेपेक्षा जास्त आहे, म्हणून उरलेल्या वायूत भूयाति आणि दुसरा एखादा वाति असला पाहिजे अम अनुमान करून, लॉड रॅले, सर विल्यम रॅमसे आदि शास्त्रज्ञांनी वातावरणातील वातीचे याय सशोधन आरभित त्या मशाघनात मन्दाति (argon), यानाति (helium)

या निष्पत्तीला त्या वस्तुद्रव्याची 'घनता' (घ) अम म्हणतात दुसऱ्या शब्दान घनता म्हणजे एकव परिमेच्या भागाचा पुन म्हणता येईल घनतेच्या परिमाणेनुसार,  $\frac{पु}{घ} = घ,$

$$\text{अथवा } पु = घ \times घ,$$

अमा पुज, परिमा आणि घनता याचा सबध दर्शविता येईल यापैकी, कोणत्याहि दोन राशीच्या अर्हा माहीत असल्यास तिसरीचे गणन

इत्यादि वातीचा शोध लागला. यावरून वस्तूच्या घनतेच्या पुरिशुद्ध निश्चयनाचे महत्त्व लक्षात येईल. शि. धा. का. पद्धतीत.....

$$\text{घनता} = \frac{\text{पु}}{\text{प}} = \frac{\text{पु धान्य}}{\text{प घनसतिमान}}$$

$$= \left( \frac{\text{पु}}{\text{प}} \right) \text{ धान्य प्रति 'घन सतिमान}$$

ॐ

.....स. ४-१

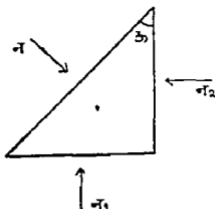
म्हणून शि. धा. का. पद्धतीतील घनतेचे एकक, १ धान्य प्रति घन सतिमान हे होय वा प्रा. का. पद्धतीत घनतेचे एकक, १ प्राजलि प्रति घनपाद हे होय.

### निपीड (pressure)

कोणत्याहि बिन्दुजवळील क्ष या अल्प क्षेत्रफळावर क्रिया करणारे बल व असल्यास,  $\frac{व}{क्ष}$  या निष्पत्तीला त्या बिन्दुवरील तरलाचे निपीड म्हणतात.

### तरलांतील निपीड

तरलातील कोणत्याहि बिंदूवरील निपीड सर्व दिशांना समान असते. तरलात एक लव कोणीय अल्प परिमा असलेल्या सक्षेत्राकृतीची (prism) कल्पना करू. (आकृति ४-४ पाहा). समजा या सक्षेत्राचा कोन ऊ आहे आणि त्याच्या कर्णपाश्चांचे क्षेत्रफळ क्ष असून त्यावरील निपीड न आहे या सक्षेत्राच्या क्षनिज आणि उदग्र पृष्ठांचे क्षेत्रफळ अनुक्रमे क्ष<sub>१</sub> आणि क्ष<sub>२</sub> ने दर्शविले आहे. सक्षेत्राची परिमा अल्प असल्याने, त्याच्या कोणत्याहि पृष्ठाच्या अल्पक्षेत्रावरील निपीड सर्वत्र सारखेच असते असे मानता येईल. म्हणून न, न<sub>१</sub> आणि न<sub>२</sub>



आ. ४-४

निपीडाचो क्रिया तरलाच्या निरनिराळ्या पृष्ठावर आकृतीत दाखविलेल्या दिशानी होते असे मानता येईल सक्षेपातील तरल स्वर असल्यामुळे, त्यावरील बलाचे समतोलन होत असले पाहिजे

$$n \sin \alpha = n_1 \sin \alpha$$

$n \cos \alpha = n_2 \cos \alpha +$  सक्षेपातील तरलाचा भार  
अभिनत पृष्ठतळाच्या विक्षेपण (projection) नियमानुसार,

$$n \sin \alpha = n_1 \sin \alpha \text{ आणि } n \cos \alpha = n_2 \cos \alpha$$

$$n = n_1 \text{ आणि } n = n_2 + \frac{\text{सक्षेपातील तरलाचा भार}}{\cos \alpha}$$

सक्षेपाची परिमा क्रमाश्रमाने लहान करीत गेल्यास अमन्या स्थान सक्षेपातील तरलाचा अल्पभार उपेक्षून,

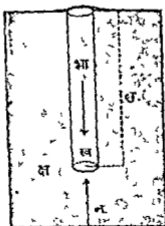
$$\therefore n = n_1 \quad \text{आणि} \quad n = n_2$$

$$\therefore n = n_1 = n_2$$

सक्षेत्राच्या अभिनत पार्श्वीच्या ऊ या कोनाची अर्हा कोणतीहि असली तरी, वरील समीकार सिद्ध करता येईल यावरून कोणत्याहि दिशेतील निपीडाची अर्हा  $n_1$  अथवा  $n_2$  ही समान आहे, तरलातील बिन्दूवरील सर्व दिशातील निपीड समान आहे हे यावरून सिद्ध होते

### तरल पदार्थातील निपीडाचें सूत्र "

तरलाच्या पृष्ठापासून छ बिन्दूची खोली किंवा गभीरता (depth) छ असल्यास, त्या बिन्दूवरील निपीडाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात (आ. ४-५ अ पाहा). छ बिन्दूवर छ या अल्प अनुप्रस्थ छेदाचा उदग्र रश्मि मुक्त पृष्ठापर्यंत उभारला आहे अशी कल्पना करू छ



आ. ४-५ (अ)

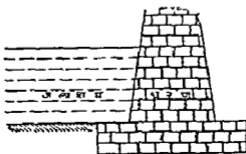
खालील तरलामुळे रम्भस्तभाच्या खालील क्षैतिज पृष्ठावर उर्ध्वामुक्त दिशेत बल प्रयुक्त असते. ह्या बलामुळे रम्भातील तरलाच्या भाराचे समतोलन होते व विदूजवळील क्षैतिज पृष्ठावर न निपीड श्रिया करीत असल्यास,

$$n \times \text{क्ष} = \text{रम्भस्तभावरील तरलाचे भारबल}$$

$$= (\text{छ} \times \text{क्ष}) \rho \times \text{भू.}$$

$$\therefore n = \text{छ घ. भू घाबल} / (\text{क्षि. मा})^2 \dots \dots \text{स. ४-३}$$

यात, घ ही तरलाची घनता असून भू हे म्बाकृष्टि-त्वरण आहे. तरलातील विदूवरील न निपीड हें त्या विदूची तरलाच्या मुक्तपृष्ठापासूनची खोली आणि तरलाची घनता यांच्याशी अनुपाति आहे खोल जलाशयाचे बाध आणि नदीवरील धरणे याचा खालील भाग बराच रूढ असतो, कारण पाण्यात बुडलेल्या धरणाच्या पृष्ठभागावर कार्य करणारे निपीड खालच्या भागावर जास्त असल्यामुळे, त्याला विरोध करण्याइतका धरणाचा खालील भाग भक्कम आणि रूढ असावयास पाहिजे. (आकृति ४-५ आ पाहा.)



आ ४-५. (आ)



आ. ४-६

### एकाच क्षैतिज तरलांतील निपीड

कल्पना करू की, स्थिर तरलातील एकाच क्षैतिज तलातील क, ख या दोन बिन्दूमध्ये आर्कित ४-६ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अल्प अनुप्रस्य छेदाची रम्भाकृति आहे. क बिंदु जवळील उदय-पृष्ठावर लंब दिशेने प्रिया करणारे बल ( $n_1 \times h_1$ ) हे क येथील रम्भाकृतीतील तरलाला ख वडे लोटते. त्याचप्रमाणे ख येथील तरल ( $n_2 \times h_2$ ) या बलाने क वडे लोटले जाते. तरलात सर्वत्र स्थिर स्थिति असल्यामुळे अशी समूह गति (mass motion) उत्पन्न करणाऱ्या बलाचे समतोलन होत असले पाहिजे.

$$n_1 \times h_1 = n_2 \times h_2$$

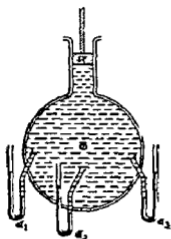
$$\therefore n_1 = n_2$$

यावरून, स्थिर तरलात एकाच क्षैतिज तलातील निपीड सर्वत्र सारखेच असते हे लक्षात येईल.

### तरलांतील निपीड-पारेषण

(transmissibility of pressure in a liquid)

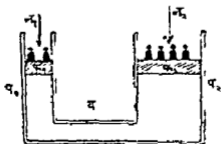
निपीडाचे तरलातील सर्व भागात समान पारेषण होते.



आ ४-७

आकृति ४-७ मध्ये दाम्बविल्या-  
प्रमाणे म मुपल खाली दावल्यान,  
क्षंतिज तलातील  $द_1$ ,  $द_2$ ,  $द_3$ ...  
या पारद निपीडामानावे  
(mercury pressure gauge)  
निपीडवाचन समान असतें यावरून  
तरलात चलपारेपण सर्व दिशानी  
सारखेंच होतें हें लक्षात येईल.  
पुढील संपरीधेन तरलातील चल-  
पारेपणात निपीड अचल असतें  
अस दिशून येतें आकृति ४-८  
मध्ये  $द_1$  आणि  $द_2$  अनुप्रस्थ  
छेद असणारी अनुक्रमे  $प_1$  आणि

$प_2$  रम्भाकार पात्रें एकमेवास  $द$  या नट्टीने जोडली आहेत  
या पात्रातील तरलावरील  $फ_1$  आणि  $फ_2$  हीं घट्ट  
जलाप्रवेश (water-tight) झाकणे वर खाली सरकू  
शकतात  $फ_1$  वर  $n_1$  हा कोणताहि भार ठेवल्यास  $फ_2$  वर  
सरकूं लागत  $फ_2$  ला स्थिर ठवण्यावरता त्यावरहि भार



आ ४-८

ठेवावा लागतो. हा भार  $n_2$  असल्यास बरील सपरीक्षेवरून असे दिसते की,

$$n_1 \cdot n_2 :: d_1 : d_2$$

$$\therefore \frac{n_1}{d_1} = \frac{n_2}{d_2}$$

$\frac{n_1}{d_1}$  आणि  $\frac{n_2}{d_2}$  अनुक्रमे  $d_1$  आणि  $d_2$  पावरील तिपीड दर्शवितात. बरील समीकारावरून हे तिपीड समान आहे असे दिसते. तरलातील तिपीड-पारिषणाच्या या नियमाचे प्रथम पास्कलने आविष्कारण केले. बरील समीकार

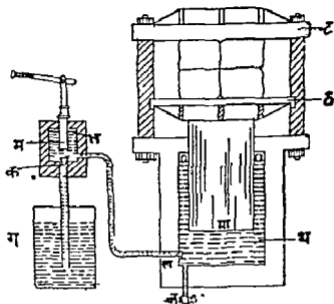
$$n_1 \times \frac{d_2}{d_1} = n_2$$

असा लिहिता येतो.  $\frac{d_2}{d_1}$  ही निष्पत्ति योग्य प्रमाणात वाढविल्यास,  $n_1$  या अल्पभाराने तरलावरील सान्द्राच्या पृष्ठावर  $n_2$  पेक्षा बऱ्याच अधिक असलेल्या बलाची प्रिया होऊ शकत हे लक्षात येईल या वर्धित बलाची योजना यत्रात केल्यास,

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{d_2}{d_1} = \text{यांत्रिक लाभ}$$

खाली वर्णन केलेल्या ग्रामाच्या पौडन यत्रात (Bramah's hydraulic press) बरील यांत्रिक लाभावाच उपयोग केलेला आहे. आकृति ४-९ मध्ये म हा लहान अनुप्रस्थ छेदाचा मुपल (piston) आहे. तो वर-खाली करून क आणि ख कपाटाच्या (valve) द्वारे म जलाशयातील पाणी, य या रुद्र तोडाच्या रम्भाकृति प्रवळ पात्रात जोराने ढकलता येते. या प्रवळ पात्राच्या शाकणानून मा मुपल वर खाली सरवू शकतो. ख कपाट उघडे असताना त मधील तरलाचे निपीड





आ. ४-९

य मधील निपीडाइतकेच असतें अशा स्थितीत म मुपलाला खाली मारणारे बल न, ने दासंविच्यास न, या बर्धित वलाने मा मुपल वर सारला जाऊन, ट आणि ठ यांमध्ये टेवलेला वायूम घट्ट आवळती येऊन त्याचा गट्टा बाधता येतो न नद्याच्या साहाय्याने य मधील पाणी बाहेर सोडून, मा मुपल पाहिजे तेव्हा खाली आणता येतो आधुनिक आत्मबहाच्या उदाहनाची (lift) क्रिया बरील-प्रमाणेच असते या उदाहनात योग्य आलगतत्व (viscosity) असलेले तेल वापरतात आणि म मुपलाची क्रिया विद्युत्वाकतीवर घालणाऱ्या बळोदचाष्ठा (force pump) साहाय्याने करतात.

आत्मबहाच्या आधुनिक आरोपात (brake) परस्परार्थी

योग्य जुळणी केलेल्या प्रबल नळातील तेलावरील निपीड वाढवून, आत्मवहाच्या सर्व चन्नावर आरोध वलाची त्रिया होते

### नियमित वस्तूची घनता

नियमित आकार असलेल्या वस्तूच्या आयामाचे मापन करून, योग्य परिमा-सूत्राच्या साहाय्याने वस्तूच्या परिमेचे गणन करावे तुलेच्या साहाय्याने वस्तूचा भार मापावा. वस्तुपुजाची जर्हा पु आणि परिमेची जर्हा प असल्यास,  $\frac{पु}{प} =$  घनता या सूत्राने घनतेचे गणन करावे

### अनियमित वस्तूची घनता

वस्तूचा आकार अनियमित असल्यास, माप-कलगात (measuring jar) तरल टाकून, तरलाच्या पृष्ठाचे मापकलगा-वरील (प<sub>१</sub>) वाचन पाहावे नंतर वस्तु तरलात बुडवून पुन्हा तरलपृष्ठाचे मापकलगावरील वाचन (प<sub>२</sub>) पाहावे (प<sub>२</sub> - प<sub>१</sub>) ही वस्तूची परिमा होईल वस्तूचा पुज पु असल्यास,  $\frac{पु}{प_2 - प_1}$  ही त्या अनियमित वस्तूची घनता होय वस्तु तरलात बुडणारी नसल्यास तिला योग्य तो निमज्जक (sinker) वाधून, तरलात वस्तु बुडवावी, आणि योग्य वाचनाच्या साहाय्याने तिच्या परिमेचे मापन करावे

### आपेक्षिक भार (specific gravity)

वस्तूचा भार

समान परिमेच्या प्रमाण द्रव्याचा भार

या निष्पत्तीला वस्तूच्या द्रव्याचा 'आपेक्षिक भार' ही सजा आहे

मान्द्र भाणि तरल वस्तूच्या आपेक्षिक भार-निश्चयनात,  $\gamma^{\circ}$  च तापावरील पाण्याचा प्रमाण द्रव्य मानण्याचा प्रमाण आहे. याची आपेक्षिक भार-गणनात ऋ. ता. नि. (N. T. P.) वरील उद्‌जन (hydrogen) हा प्रमाण यानि घेतात. निशाचा आपेक्षिक भार ११.३६ आहे याचा अर्थ निशाच्या एखाद्या वस्तूचा भार तिनव्याच परिमेष्या पाण्याच्या भारापेक्षा ११.३६ पट आहे. यावरून आपेक्षिक भार ही राशि केवळ सुग्येने दर्शवता येते हे स्पष्ट होईल.

$$\text{आ. भा.} = \frac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमेष्या } \gamma^{\circ} \text{ च. तापावरील पाण्याचा भार}}$$

$$= \frac{\text{वस्तूची घनता}}{\gamma^{\circ} \text{ च. तापावरील पाण्याचा घनता}}$$

$$= \frac{\text{वस्तूची घनता}}{\text{पाण्याची घनता}}$$

$\frac{\text{वस्तूची घनता}}{\text{प्रमाण द्रव्याची घनता}}$  या निष्पत्तीला सापेक्ष घनता ही मजा दिव्यात

आपेक्षिक भार = सापेक्ष घनता.

तरलाचा आपेक्षिक भार

घनता कूपी (density bottle)

या काच कूपीच्या पिधेला (stopper) वारणार एक सूक्ष्म छिद्र असते. आकृति ४-१० पाहा. ही कूपी तरलाने पूर्ण भस्व, निशा हलूच बसविली म्हणजे पिधेच्या छिद्रातून जास्त असलेले तरल

वाहून जाऊन, कूपी तरलाने पूर्ण भरते या कूपीच्या साहाय्याने समान परिमा असलेली दोन तरल द्रव्ये घेता येणे सुकर होते.



आ. ४-१०

तुलेच्या साहाय्याने कोरड्या रिकाम्या कूपीच्या भाराचे वाचन (व) घेतात. नंतर वर सांगितल्याप्रमाणे ती कूपी संपरीक्ष्य तरलाने पूर्ण भरून, तिच्या भाराचे दुसरे वाचन (व<sub>१</sub>) घेतात. तरल काढून कोरड्या केलेल्या कूपीत वरीलप्रमाणेच पाणी भरून, तिच्या भाराचे तिसरे वाचन (व<sub>२</sub>) घेतात. यावरून,

$$\begin{aligned} \text{तरलाचा आपेक्षिक भार} &= \frac{\text{तरलाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}} \\ &= \frac{\text{कूपीतील तरलाचा भार}}{\text{कूपीतील पाण्याचा भार}} \\ &= \frac{व_1 - व}{व_2 - व} \end{aligned}$$

रेतीच्या वारीव वणासारखे चूर्ण (powder) असलेल्या मान्द्राचा अथवा गुटिका हपांत असलेल्या मान्द्राचा आपेक्षिक भार घनता कूपीच्या उपयोगाने निश्चित करता येतो.

प्रथम कूपी कोरडी करून, तिच्या भाराचे वाचन (व) घेतात त्यानंतर दिलेल्या गुटिका कूपीत घालून, पुन भाराचे वाचन (व<sub>१</sub>) घेतात. गुटिका कूपीतच असताना, कूपी पाण्याने पूर्ण भरून, भाराचे तिसरे वाचन (व<sub>२</sub>) घेतात. त्यानंतर गुटिका बाहेर काढून, कूपी वेवट्ट पाण्याने पूर्ण भरून भाराचे चौथे वाचन (व<sub>४</sub>) घेतात.

$(v_2 - v_1)$  ही राशी गुटिकाचा भार दर्शविते. तिसऱ्या आणि चौथ्या वाचनात भेद एवढाच झाला की, गुटिकांनी चूर्णातील व्यापिलेली परिमा, चौथ्या भारवाचनात पाण्याने व्यापिली. यावरून,  $(v_3 - v_4)$  ही राशी गुटिकाचा भार आणि समान परिमेच्या पाण्याचा भार या दोहोतील भेद दर्शविते.

गुटिकांचा भार - समान परिमेच्या पाण्याचा भार =  $(v_2 - v_1)$

$$\therefore (v_2 - v_1) - (v_3 - v_4) = \text{गुटिकाचा भार} - [\text{गुटिकाचा भार} - \text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}]$$

$$= \text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}$$

म्हणून,

$$\text{गुटिकाच्या द्रव्याचा आपेक्षिक भार} = \frac{v_2 - v_1}{(v_2 - v_1) - (v_3 - v_4)}$$

चूर्णरूप सान्द्राच्या आपेक्षिक भाराचे बरोलप्रमाणेच निश्चयन करता येते. चूर्ण अथवा गुटिकाचे पाण्यात विलयन (solution) होत असल्यास, ते द्रव्य ज्यात अविलेय (insoluble) आहे अशा तरलाचा बरोलप्रमाणे उपयोग करून, गुटिकाच्या द्रव्याचा अविलेय तरलाशी असलेला आपेक्षिक भार गणन करतात

$$\text{गुटिकाच्या द्रव्याचा आपेक्षिक भार} = \frac{\text{गुटिकाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$$

$$= \frac{\text{गुटिकाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या तरलाचा भार}} \times \frac{\text{समान परिमेच्या तरलाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$$

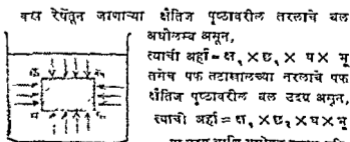
$$= \text{गुटिकाचा अविलेय तरलाशी असलेला आपेक्षिक भार} \times \text{अविलेय-तरलाचा आपेक्षिक भार}$$

वरील मूत्राने अविलेय तरलाचा आपेक्षिक भार ज्ञात असल्यास, गुट्ट्याचा अथवा चूर्णरूप सान्द्राचा आपेक्षिक भार गणन करता येतो.

### आर्किमिडीसचा उत्प्लावित्वा प्रनियम (Archimedes' principle of buoyancy)

लांकडाच्या वस्तु पाण्यावर तरंगतात अशा वस्तु पाण्यात बुडविण्याचा प्रयत्न केल्यास, त्या जोराने वर ढकलल्या जाऊन, पुनः पाण्याच्या पृष्ठावर येतात, असा आपला अनुभव आहे यावरून, सान्द्र वस्तूस वर लोटणारे बल तरलात असावे, असे अनुमान करता येईल पुढील विवेचनात या वर लोटणाऱ्या बलाचे स्पष्टीकरण केले आहे.

फलफप ही एक नियमित आकाराची वस्तु तरलात बुडविली आहे. आकृति ४-११ पाहा. ह्या वस्तूच्या एकदर सहा पृष्ठतलांपैकी चार उदग्र पार्श्वतल (lateral surface) असून, दोन क्षैतिज आहेत. समोरासमोरील उदग्र पार्श्वतलांचे क्षेत्रफळ समान असल्यामुळे, आणि त्यावर क्रिया करणारे क्षैतिज दिशेतील निपीडबहि समान अहोचे असल्यामुळे, चारही पार्श्वतलावरील बलाचे समतोलन होणे.



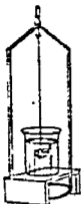
बल रेपेंतून जगणाऱ्या क्षैतिज पृष्ठावरील तरलाचे बल अधोलम्ब असून,

त्याची अर्ही =  $घ_१ \times घ_२ \times घ \times \mu$   
 तसेच पफ तटासालच्या तरलाचे पफ  
 क्षैतिज पृष्ठावरील बल उदग्र असून,  
 त्याची अर्ही =  $घ_१ \times घ_२ \times घ \times \mu$

या उदग्र आणि अधोलम्ब बलांचे परि-  
 पामो उदग्र बल =  $घ_१ \cdot (घ_२ - घ_१) घ \mu$

आ. ४-११

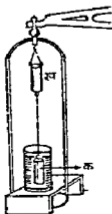
## आर्किमिडिजच्या उल्काघिता प्रनियमाचे सत्यापन



बस्तूचा भार मापून, ती बस्तू आकृति ४-१२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे तरलांत पूर्णपणे बुडविली असता, तिचा भार पुन मापून घेण्यात, त्या बस्तूचा भार घटलेला दिसतो. बस्तूचा वायूतील भार न घटून तिचा तरलातील भार न, असल्यास, (न-न<sub>१</sub>) ही भारतातील घट त्या बस्तूने विस्थापिलेल्या तरलाच्या माराद्वारे असते हे संपत्तीने दाखविते येते. आकृति ४-१३ मध्ये दाखविलेल्या-

आ. ४-१२

य वा रम्भावार पात्राची धारिता आणि क रम्भाची परिमा समान असल्याने क रम्भ स पात्रात बसवून तुलेच्या साहाय्याने स आणि क याचा भार न निश्चित करावा. आता, क रम्भ पाण्यात बुडेल अशा रीतीने त्याखाली जलपात्र ठेवून,



आ. ४-१३

आकृती ४-१३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे क, आणि स चा भार मापून घेण्यात न भाराने तुला असमतुलित आहे असे दिसेल. म्हणजे क, स चा अशा स्थितीतील भार घटलेला दिसतो यानंतर, स पात्र पाण्याने पूर्ण भरून, पुनः भार मापल्यास तुला न भारानेच समतुलीन झालेली आढळते. यावरून, क रम्भ पाण्यात बुडलेला असताना, त्याच्या भाराने जो घट दिसतो, तो घट स पात्रातील पाण्याच्या

भारासमान आहे. परंतु ख ची धारिता क च्या परिमेसमान असने, म्हणून क रम्भ पाण्यांत असताना त्याच्या भारातील घट

= ख पात्रातील पाण्याचा भार

= क च्या परिमेइतवया पाण्याचा भार

= क ने विस्थापलेल्या पाण्याचा भार

अनियमित आकाराच्या वस्तूच्या साहाय्यानेहि वरील निष्कर्षाचे मत्यापन करता येते. अनियमित आकाराची वस्तु घेऊन तरलातील तिच्या भाराची घट निश्चित करावी. मापपात्राच्या साहाय्याने वस्तूची परिमा गणत करून, तेवढ्याच परिमेच्या तरलाचा भार बेल्याम, हा भार आणि तरलातील वस्तूच्या भारातील घट या दोहोच्या अर्हा समान आहेत असे दिसेल. तरलात बुडणाऱ्या प्रत्येक वस्तूच्या भारात दिमून येणारी घट, ही त्या वस्तूने विस्थापित केलेल्या तरलाच्या भाराइतकी असने, हे अनुमान प्रथम आर्किमिडीजने केले, म्हणून याला 'आर्किमिडीजचा उत्प्लाविता प्रनियम' असे म्हणतात

उत्प्लाविता प्रनियमाचे उत्प्लाविता बलाच्या द्वारे स्पष्टीकरण करता येते

वस्तूचा तरलातील प्रत्यक्ष भार = वस्तूवरील भ्वाकृष्टिबल - तरला-  
[तील उत्प्लाविता बल

= वस्तूचा वायूतील भार - तरला-  
[तील उत्प्लाविता बल

• वस्तूचा वायूतील भार - वस्तूचा तरलातील प्रत्यक्ष भार =  
तरलातील उत्प्लाविता बल



द्विधा

तरलांतील वस्तूच्या भारातील घट = तरलातील उष्ण-  
[विना वस्तू.]

परंतु मागे सांगितल्याप्रमाणे,

तरलातील उष्णविना बल = वस्तूच्या समान परिमेच्या  
[तरलाचा भार.]

म्हणून,

तरलात वस्तूच्या भारातील प्रत्यक्ष घट = वस्तूने विस्थापलेल्या  
[तरलाचा भार]

### आपेक्षिक भार निश्चयनाच्या रीती

आपेक्षिक भाराच्या निश्चयनाला आर्किमिडीजच्या उष्णविना  
प्रनियमाचा उपयोग करता येतो वस्तूचा वायूतील भार न असून  
त्याच वस्तूचा पाण्यातील भार  $m_1$  असल्यास,  $(m - m_1)$  ही  
भाराची प्रत्यक्ष घट समान परिमेच्या पाण्याच्या भाराइतकी असते म्हणून,

$$\begin{aligned} \text{वस्तूचा आपेक्षिक भार} &= \frac{\text{वस्तूचा वायूतील भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}} \\ &= \frac{m}{(m - m_1)} \end{aligned}$$

ह्याच प्रनियमाचा उपयोग करून, तरलाच्या आपेक्षिक भाराचे  
निश्चयन करता येते  $m$  भाराच्या एका सान्द्राचा पाण्यातील आणि  
तरलातील भार अनुक्रमे  $m_1$  आणि  $m_2$  असल्यास,

$$\text{तरलाचा आपेक्षिक भार} = \frac{\text{तरलाचा भार}}{\text{समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$$

$$\text{आ भार} = \frac{\text{सान्द्राच्या समान परिमेच्या तरलाचा भार}}{\text{सान्द्राच्या समान परिमेच्या पाण्याचा भार}}$$

$$\text{आ भा} = \frac{\text{सान्द्राने विस्थापिलेल्या तरलाचा भार}}{\text{त्याच सान्द्राने विस्थापिलेल्या पाण्याचा भार}}$$

$$" " = \frac{\text{तरलातील सान्द्राच्या भाराची प्रत्यक्ष घट}}{\text{पाण्यातील त्याच सान्द्राच्या भाराची प्रत्यक्ष घट}} = \frac{m - m_1}{m - m_2}$$

या सूत्राने तरलाच्या आपेक्षिक भाराचे निश्चयन करता येते. पाण्यात तरंगणाऱ्या सान्द्र वस्तूच्या आपेक्षिक भाराचे गणन करणे असल्यास, निमज्जकाचा उपयोग करून, पुढीलप्रमाणे वाचने टिपून घ्यावीत प्रथम सपरीक्ष्य सान्द्राच्या वायूतील भाराचे (म<sub>१</sub>) वाचन घ्यावे त्यानंतर सान्द्र वायूतच राहू देऊन त्यास बांधलेला निमज्जक पाण्यात पूर्णपणे बुडवावा आणि पुन भाराचे (म<sub>२</sub>) वाचन घ्यावे शेवटी सान्द्र वस्तु आणि निमज्जक दोन्ही पाण्यात पूर्णपणे बुडवून त्याच्या भाराचे (म<sub>३</sub>) वाचन घ्याव

$$m_3 = \text{निमज्जकाचा पाण्यातील भार} + \text{वस्तूचा पाण्यातील भार}$$

$$= \text{निमज्जकाचा पाण्यातील भार} + [\text{वस्तूचा वायूतील भार} - \text{वस्तूने विस्थापिलेल्या पाण्याचा भार}]$$

$$= (\text{निमज्जकाचा पाण्यातील भार} + \text{वस्तूचा वायूतील भार}) - \text{वस्तूने विस्थापिलेल्या पाण्याचा भार}$$

$$= m_2 - \text{समान परिमच्या पाण्याचा भार}$$

$$\therefore \text{समान परिमच्या पाण्याचा भार} = m_2 - m_3$$

$$\text{वस्तूचा आपेक्षिक भार} = \frac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमच्या पाण्याचा भार}}$$

$$" " " = \frac{m_1}{(m_2 - m_3)}$$



### साधे तरलमान (hydrometer)

या उपकरणाच्या उपयोगात प्लवन नियमाचा अवलंब करतात. व या काचेच्या रुंद नळीच्या वरच्या टोकाला प हा स्तन जोडलेला असतो (आ. ४-१४ पाहा.) तरलात व नळी उदय दिसेल स्थिर राहाण्याकरिता व मध्ये पुरेसा पारद घालतात अथवा गिशाच्या चारीक गुठिका घालतात हे उपकरण तरल्यान मुक्त सोडल्यास स्तम्भाच्या काही विशिष्ट उंची पर्यंत ते तरलात बुडून उदय स्थितीत स्थिर राहते या स्थितीत पु पुज असलेल्या तरलमानाचे भ्वावृष्टिबल = (पु × पु)

आ. ४-१४

= तरलातील उत्प्लावित बल

= तरलमानाच्या बुडलेल्या भागाने विस्थापलेल्या तरलाची परिमा × तरलाची घनता × गू.

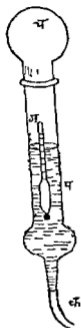
किंवा तरलमानाचा पुज, पु = विस्थापलेल्या तरलाची परिमा × तरलाची घनता

विस्थापित तरलाची परिमा अथवा तरलमानाच्या बुडलेल्या

$$\text{भागची परिमा} = \frac{\text{तरलमानाचा पुज (पु)}}{\text{तरलाची घनता (घ)}}$$

तरलमानाचा तरलात बुडलेला भाग हा तरलाच्या घनतेला प्रतीपानुपाति (inversely proportional) असतो हे वरील समीकारावरून दिसून येते. त्याच्या पाण्यापेक्षा माघ्या पाण्यात ह्या तरलमानाचा भाग जास्त बुडतो. यावरून त्याच्या पाण्याची घनता साध्या पाण्यापेक्षा जास्त असते हे लक्षात येणे घनता जात असलेल्या

तरलात ह तरलमान बुडवून, त्याच्या प स्तम्भावर या तरलाच्या घनतेचे अकन केलेले असते त्यानंतर कोणत्याही तरलाची घनता या तरलमानावरील अकनाच्या साहाय्याने मापन करता येते



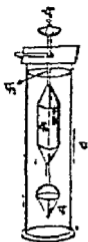
धा ४-१५

दुधाची घनता मापणाऱ्या दुग्धमानात (lactometer) तरलमानाच्याच प्रनियमाचा उपयोग केलेला असता विद्युत् सग्रह कोशेतील (storage cell) अम्लाची (acid) घनता वाढण्याकरता तरलमानाचा पुढील प्रमाणे उपयोग करतात आकृति ४-१५ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे प या रुद काच नळीत, ग हे अकन केलेले लहान तरलमान असते प च्या खालच्या निमुळत्या टोकाला बसवलेली घृषि-गळी, सग्रह कोशेच्या अम्लतरलात बुडवून च हा घृषिकद दावल्यास प मधील वायू क द्वारे बाहेर पडतो त्यानंतर घृषिकद भोकळा सोडल्यास क द्वारे सग्रह कोशेतील अम्लतरल प मध्ये शिरत या अम्लतरलाची घनता त्यावर तरंगणाऱ्या ग या लहान तरलमानाच्या

साहाय्याने मापन करता येते

### निकलसनचे अचल निमज्जन तरलमान (Nicholson's hydrometer)

व या घातूच्या पोक्ळ रुद रम्भाला ग ह निशीर्ष (inverted) शकवाकार पात्र (conical vessel)) जोडलेले असते (आकृति ४-१६ पाहा) व चा वरचा भाग फ या घातूच्या अनाम्य वारीक स्तम्भाला (stem) जोडलेला असून फ च्या वरच्या टोकाला च ही



आ ४-१६

घातूची तक्कडी आहे तरलमान तरलान् उदय म्यित्तंत तरगावे म्हणून प शकूत पुरेसे शिसे घातलेले असने. फ स्तम्भावर एका विशिष्ट स्थानावर खुण केलेली असने. सपरीक्षेत हें तरलमान या विशिष्ट खुणेपर्यंतच तरलांत बुडवितात, म्हणून यास 'अचल निमज्जन तरलमान' म्हणतात

तरलमान छ रम्भपात्रातील पाण्यात मुक्त सोडून, फ खुणेपर्यंत ते पाण्यात बुडून त्विर होण्याकरता, वरच्या तक्कडीवर पुरेसा भार (भ<sub>१</sub>) ठेवतात हा भार काढून तक्कडीवर अल्प परिमेची वस्तु ठेवून, तरलमान खुणेपर्यंत

बुडण्यात तक्कडीवर दुसरा पुरेसा भार (भ<sub>२</sub>) ठेवतात त्यानंतर, ही अल्प परिमेची वस्तु शकूच्या पृष्ठावर ठेवून, तरलमान फ पर्यंत बुडण्यात तक्कडीवर भार (भ<sub>३</sub>) ठेवतात या तिन्हीही वाचनात तरलमानाने विस्थापित केलेली पाण्याची परिमा समान असल्याने या सर्व वाचनात उत्प्लाविता बल भारखेच असते १ त्या वाचनावरून

$$\text{उत्प्लाविता बल} = \text{तरलमानाचा भार} + \text{भ}_1$$

२ च्या वाचनावरून,

$$\text{उत्प्लाविता बल} = \text{तरलमानाचा भार} + \text{वस्तूचा वायूतील भार} + \text{भ}_2$$

३ च्या वाचनावरून,

$$\text{उत्प्लाविता बल} = \text{तरलमानाचा भार} + (\text{वस्तूचा भार} - \text{वस्तूने विस्थापिलेल्या पाण्याचा भार}) + \text{भ}_3$$

$$\therefore \text{वस्तूचा भार (वायूतील)} = (m_1 - m_2)$$

$$\text{आणि वस्तूने विस्थापित केलेल्या पाण्याचा भार} = (m_3 - m_2)$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{वस्तु द्रव्याचा आपेक्षिक भार} &= \frac{\text{वस्तूचा भार}}{\text{समान परिमेत्रेच्या पाण्याचा भार}} \\ &= \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2} \end{aligned}$$

तरलाच्या आपेक्षिक भाराचे निश्चयन तरलमानाच्या साहाय्याने पुढीलप्रमाणे करतात. तरलमान पाण्यात आणि तरलात फ लुणेपर्यंत बुडण्यास लागणारे भार अनुक्रमे  $m_1$  आणि  $m_2$  असून बोरडचा तरलमानाचा भार  $m$  असल्यास,

$$m + m_2 = \text{तरलाचे उत्प्लाविता बल} = \text{तरलमानाने विस्थापलेल्या तरलाची परिमा} \times \text{तरलाची घनता} \times m$$

आणि

$$m + m_1 = \text{पाण्याचे उत्प्लाविता बल} = \text{तरलमानाने विस्थापलेल्या पाण्याची परिमा} \times \text{पाण्याची घनता} \times m$$

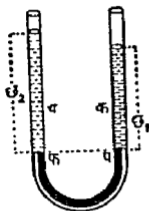
तरलमान पाण्यात आणि तरलात, फ लुणेपर्यंत बुडविल्यामुळे,

$$\begin{aligned} \therefore \frac{m + m_2}{m + m_1} &= \frac{\text{तरलाचे उत्प्लाविता बल}}{\text{पाण्याचे उत्प्लाविता बल}} = \frac{\text{तरलाची घनता}}{\text{पाण्याची घनता}} \\ &= \text{तरलाची सापेक्ष घनता} = \text{तरलाचा आपेक्षिक भार} \end{aligned}$$

उर्ध्वबाहू नलिकेची रीति (U-tube method)

तरलाचा आपेक्षिक भार उर्ध्वबाहू नलिकेच्या साहाय्याने निश्चित

करना येतो. आकृति ४-१७ मध्ये दर्शविलेल्या क व या उच्चवाहू-नलिकेच्या खालच्या भागात पुरेसा पारद ठेवण्यात आला. क वाहून बाही मररोक्ष्य तरल टाकून त्या तरलाचा पुरेसा स्तम्भ घेतान. त्यानंतर, क वाहत पुरेसे पाणी टाकून दोन्ही वाहतोळ पारदाचे प आणि क पुढे एकाच क्षणिक तलात आणतात. या स्थितीत,



आ. ४-१७

प येथील अधोलम्ब निपीड = क

येथील अधोलम्ब निपीड; म्हणून

वायुमण्डलाचे निपीड +  $h_1$  या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड =

वायुमण्डलाचे निपीड +  $h_2$  या तरलाच्या स्तम्भाचे निपीड

$h_1$  या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड =  $h_2$  या तरलाच्या स्तम्भाचे निपीड

या समीकारात पाण्याची

$$h_2 \times \rho' \times g = h_1 \times \rho \times g$$

घनता  $\rho$  असून

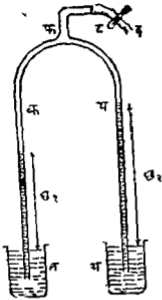
तरलाची घनता  $\rho'$  आहे.

$$\therefore \frac{\rho'}{\rho} = \frac{h_1}{h_2} = \text{तरलाची सापेक्ष घनता} = \text{तरलाचा आपेक्षिक भार}$$

ह्या संपरीक्षेत क आणि क मधील तरल, पारदान मिसळणारे नसावे.

अधोवाहू नळी (Hare's apparatus)

आकृति ४-१८ मध्ये हेअरची अधोवाहू नळी दाखविली आहे.



आ ४-१८

नळीच्या क, घ बाहूची खारुची टोबे अनुक्रमे त पात्रातील पाण्यात आणि घ पात्रातील तरलांत बुडलेली असतात क आणि घ च्या वरच्या भागाला फ ही नळी जोडलेली असून, ह्या नळीला एक धृषि-नळी जोडतात धृषि-नळीला ट स्वज (clip) लावलेला असतो प्रथम स्वज हाताने दावून उघडा करतात आणि द द्वारे क आणि घ बाहूतील थोडा वायु शोषून घेतात नंतर स्वज पुन बंद करतात वायु शोषणाने क, घ बाहूतील वायूच्या निपीडात घट होऊन त आणि घ मधील तरल अनुक्रमे क आणि घ बाहूत शिरत तरल-स्तम्भाची स्थिरस्थितीतील उंची अनुक्रमे छ<sub>१</sub>

आणि छ<sub>२</sub> असल्यास,

त वरील वायुमंडलीय निपीड = छ<sub>१</sub> या पाण्याच्या स्तम्भाचे

निपीड + क आणि घ मधील वायूचे निपीड

घ वरील वायुमंडलीय निपीड = छ<sub>२</sub> या तरलाच्या स्तम्भाचे

निपीड + क आणि घ मधील वायूचे निपीड

छ<sub>१</sub> या पाण्याच्या स्तम्भाचे निपीड = छ<sub>२</sub> या तरल-स्तम्भाचे निपीड

$$\cdot \quad \text{छ}_1 \times \text{घ} \times \text{भू} = \text{छ}_2 \times \text{घ} \times \text{भू}$$



किंवा (तरलाची सापेक्ष घनता)

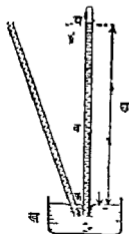
$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{h_1}{h_2}$$

$$\rho \text{ मधील तरलाचा आपेक्षिक भार} = \frac{h_1}{h_2}$$

त आणि  $\rho$  मधील तरलाचे पृष्ठ समान पातळीत अमावे वरील सर्व रीतीत आपेक्षिक भाराचे निश्चयन करताना पाण्याचा ताप प्रयोगशाळेंतील कोष्टतापाइतका आहे असे गृहित आहे

### घापीडमानाचा प्रनियम (principle of a barometer)

वायुमण्डलीय निपीडाचे पारदस्तम्भाच्या निपीडाशी पुढील प्रमाणे समतोलन करून या समतुलित पारदस्तम्भाच्या उचीत वायुमण्डलीय निपीड दसंबिण्यान येते एक टोक वर असलेली आणि ७६ सें. मा पेक्षा घोटी जास्त लांबी असलेली एकरूप छिद्राची



आ ४-१९

क नळी पाण्याने पूर्ण भरतात नंतर तिचे ताड ख या द्रोणीपात्रातील (basin) पारदात बुडवून ही नळी आकृति ४-१९ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे उदग्र स्थितीत स्थिर ठेवतात नळीतील काही पारद द्रोणीपात्रातील पारदात उतरतो आणि विशिष्ट उंचीचा एक पारदस्तम्भ नळीत स्थिर असतो द्रोणीपात्रातील मुक्त पारद पृष्ठावर वायुमण्डलीय निपीड असून या पारदपृष्ठाच्या पातळीवरील नळीतील एक पारद स्तम्भाच्या निपीडाने वायु मण्डलीय निपीडाचे समतोलन होत

$$\begin{aligned} \therefore \text{वायुमण्डलीय निपीड} &= \text{एक पारदस्तम्भाचे निपीड} \\ &= \text{द्रोणीपात्रातील पारदाच्या मुक्त} \\ &\quad \text{पृष्ठापासून पारदस्तम्भाची उची} \\ &\quad \times \text{पारदाची घनता} \times \text{भू} \\ &= [ \text{एक} \times \text{पारदाची घनता} \times \text{भू} ] \end{aligned}$$

जि धा. वा. पद्धतीत निपीडाचे  $\frac{१ \text{ घावल}}{१ \text{ (शि. मा.)}^२}$  या एककात गणन करतात. शून्य अस शक्ति ताप असलेल्या पारदाच्या ७६ शि. मा. उची असलेल्या स्तभाने समतुलित होणाऱ्या वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा

$$७६ \times १३.६ \times ९८१ = १०१३ \times १०^६ \frac{\text{घावल}}{(\text{शि. मा.})^२}$$

म्यूल मानाने वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा  $१ \times १०^६ \frac{\text{घावल}}{(\text{शि. मा.})^२}$

इतकी असते. वायुमण्डलीय निपीड पारदस्तम्भाच्या उचीने दर्शविण्याचाही प्रघात आहे व नळीचे छिद्र केशालत्वाची क्रिया होण्याइतके सूक्ष्म नसावे. नळीत अल्प घनतेचा तरल असल्यास, या तरलस्तम्भाच्या उचीचे माण पुढीलप्रमाणे दर्शविता येते.

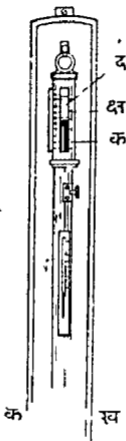
वायुमण्डलीय निपीड = तरलस्तम्भाची उची  $\times$  तरलाची घनता  $\times$  भू

आकृति ४-१९ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे नळी जास्त तिरपी वरीत गेल्यास, नळीचा प बरोल सर्व भाग पारदाने पूर्ण व्याप्त होतो यावरून तेथे विस्थापित होण्यासारखे कोणतेहि द्रव्य नाही असे दिसून येईल. वापीडमानातील प बरोल भागास टॉरिसेलीचा 'उर्ध्वशून्यक' (Torricellian vacuum) असे म्हणतात टॉरिसेली नावाच्या घास्रज्ञाने ह्या पटनेचा प्रयम अभ्यास केला.

द्वयस्थाप्य वापीडमान

(Fortin's adjustable barometer)

फॉर्टीनच्या वापीडमानाने वायुमण्डलीय निपीडाचे परिशुद्ध

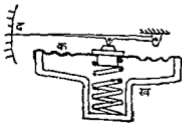


वाचन घेणे मुकर होणे (आर्तुति ४-२० पाहा) ट या चर्माच्या पिशवीतील पारदात क नळीचे तोंड बुड लेले अमते या पिशवीचा तळ ठ भ्रमीला जोडलेल्या धातूच्या जाड तबकडीवर आधारलेला अमतां भ्रमीद्वार तबकडी वर किंवा खाली सरकविल्याने, पिशवीच्या धारितेत परिवर्तन होणे या रीतीने पिशवीतील पारदाचा मुक्क पृष्ठ वर किंवा खाली आणता येतो. वाचन घेण्यापूर्वी, वापीडमानाला बसविलेल्या भ्रमीच्या साहाय्याने, वापीडमान उदय-स्थितीत स्थिर करतात. त्या-

हस्तिदती सूचीच्या अगाला स्पर्श करील इतका वर आणतात. ख सूच्यप्रापामून क मधील पारदस्तम्भाच्या उंचीचेवाचन क्ष या उदग्र-  
श्रेणीवर घेतात निलयदन्तिका ग्रामीला (rack and pinion screw)  
जोडलेल्या द अनुश्रेणीच्या साहाय्याने आयाम वाचनात परिशुद्धता येते.

### अनीर वापीडमान (aneroid barometer)

ख धातूपानाच्या वर्तुळाकार डवीचे क हे शाकण वळीमान  
(corugated) पातळ पत्र्याचे असते (आ. ४-२१ पाहा).  
या डवीतील थोडा वायू काढून घेतात यामुळे ख पात्रातील  
वातिनिपीड वरेच घटलेले असते. क पृष्ठावरील वायुमण्डलीय  
निपीडात परिवर्तन झाल्यास, क पृष्ठाच्या मध्यबिन्दूचे विस्थापन होणे.  
मध्य बिन्दूवर आधारलेल्या उद्यामसहतीच्या योग्य जुळणीने मोठ्या  
वर्तुळ परिधीवर फिरणाऱ्या द देष्टयाचे विशाल विस्थापन होते. पारद-  
वापीडमान आणि वरील अनीर वापीडमान याची वाचने एकाच  
वेळी घेऊन अनीर वापीडमानाच्या वर्तुळ परिधीवर पारदस्तम्भाची  
उंची दर्शविणारे प्राकन (calibration) करतात वायुमण्डलीय  
निपीड समुद्रसपाटीपासून मापण्याचा प्रघात आहे समुद्रसपाटीपासून  
जसजसे वर जावे तसतसे वायुमण्डलीय निपीड घटत जाते यावरून  
एखाद्या स्थलाचे वायुमण्डलीय निपीड माहित असल्यास, त्या स्थळाची  
समुद्रसपाटीपासून उंची कळू शकते आधुनिक विमानसंचारात,  
विमान भूमीपासून किती उंचीवर आहे पाच शान आवश्यक असल्याने,



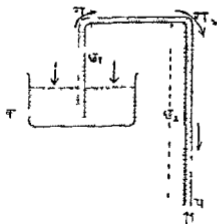
आ ४-२१

विमानान या अनीर वापीड-  
मानाची योजना करतात  
बऱ्याच मोठ्या भूप्रदेशावरील  
निरनिराळ्या स्थळांचे वायु-  
मण्डलीय निपीड माहित अस-  
ल्यास त्या प्रदेशावरील वायु-  
मण्डलातील वायूची दिशा  
आणि प्रवेग याची पूर्वकल्पना

करना येते. पाऊस पडण्यापूर्वी वायुमण्डलांत पाण्याचे वाष्प बऱ्याच जास्त प्रमाणात थसते आणि वाष्पाची घनता अल्प असल्याने, वायुमण्डलाच्या निपोंडात घट होणे घाबरून, वायुमण्डलाच्या निपोंडात घट आल्यास पावसाविषयी स्थूलमानाने भविष्य वर्तविते येते. येमानिर्वाणा व नाविकाना वायुमण्डलासंबंधी आवश्यक तेवढ्या पूर्वागुचना देण्याचा आजकाल प्रघात आहे

### निनाल (siphon)

आकृति ४-२२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे अधोगत वाहूनळीचा एक वाहू व पात्रातील तरलात बुडलेला असून, दुसऱ्या लाव बाहूचे टोक पात्रातील तरलपृष्ठापेक्षा खाली असावे लागते. हा द्विबाहू तरलाने पूर्ण झाल्यावर, आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे व पात्रात ठेवल्यास, पात्रातील तरल नळीमार्गे बाहेर वाहून येते. या द्विबाहू नळीला निनाल ही संज्ञा आहे



निनालातील तरल प्रवाहाचे स्पष्टीकरण पुढीलप्रमाणे आहे गल्ल या क्षितिजतलातील ग बिन्दुवरील तरलाचे निपोंड = छ, या तरल स्तम्भाचे निपोंड = क पात्रातील तरलावरील वायुमण्डलीय निपोंड

नसच,

(ख येथील तरलाचे निपीड + छ<sub>२</sub> या तरलस्तभाचे निपीड)

= प येथील वायुमण्डलीय निपीड

ग येथील निपीड - ख येथील निपीड = (छ<sub>२</sub> - छ<sub>१</sub>) या तरलस्तभाचे निपीड.

स भागाकडील निनालाचा वाहू जास्त लांब असल्यामुळे, (छ<sub>२</sub> - छ<sub>१</sub>) या राशीची अर्हा घन असते. यावरून एकाच समपातळीत असलेल्या ग विन्दूवरील निपीड. ख विन्दूवरील निपीडापेक्षा जास्त असल्याने, निनालातील तरल ग विन्दूकडून ख विन्दूकडे प्रवाहित होऊन पानावाहेर पडते. तरल पानावाहेर प्रवाहित करण्याकरता, छ<sub>२</sub> ची अर्हा छ<sub>१</sub> पेक्षा जास्त असावी, म्हणजेच बाहेरील वाहूचे टोक पानातील तरल-पृष्ठताच्या साली असावे. या वाहूचे टोक तरल पृष्ठाच्या वर असल्यास, (छ<sub>२</sub> - छ<sub>१</sub>) ची अर्हा ऋण होईल आणि तरल ग विन्दूकडून स कडे प्रवाहित होणार नाही. यावरून निनालाच्या साहाय्याने पानातील तरलपृष्ठापेक्षा जास्त उंचीवर तरल नेणे अशक्य आहे हे लक्षात येईल निनालातील प्रवाह चालू राहण्यास क पानातील तरल निनालाच्या शिरोभागापर्यंत वर येत राहिले पाहिजे ही क्रिया तरलाच्या मुक्तपृष्ठावरील वायुमण्डलीय निपीडामुळे होते. म्हणून, तरलाच्या मुक्तपृष्ठापासून निनालाच्या शिरोभागाच्या छ उंचीची अर्हा

$$\left\{ \frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{तरलाची घनता} \times \text{भू}} \right\}$$

या पदसहतीपेक्षा जास्त असल्याने निनालातील तरलाचा प्रवाह थांबतो.

आधुनिक संपरीक्षात असे आढळून आले आहे की न पानातील तरल विलेय-वातिहीन (free from dissolved gases) असल्यास, छ<sub>१</sub> ही उंची

$$\left\{ \frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{तरलाची घनता} \times \text{भू}} \right\}$$

या पदसहतीपेक्षा जास्त असूनहि निनालाची क्रिया होते. या प्रयोगेस ख वाहूकडील तरल

भारयत्नाने म्हाली येताना ग म्हालील तरल-स्तम्भ आतन्य बळाने (tensile force) दोरा-सारखा वर ओडला जातो

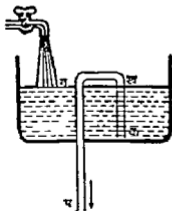
'धमुदेव पेला' आणि पाश्चात्य देशातील 'टॅंटलम कप' (Tantalus cup) इत्यादि गेळणी निनालाच्या प्रनियमावर आधारलेली आहेत. निनालाचे वाहू आकृति ४-२३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे क पात्रात वसविलेले असतात. ग ख शिरोभागी श्रीकृष्णाच्या मूर्तीचे पाय असतात. क पात्रात पाणी ओतीत असताना, पाण्याचा



आ ४-२३

पृष्ठ मूर्तीच्या पायास लागता-  
क्षणीच पात्रातील पाणी प मार्गे  
निनालातून बाहेर पडते.

पौषवूप, मोन्हा इत्यादि  
धुण्याकरता निनालाच्या क्रियेचा  
उपयोग करतात. आकृति ४-२४  
मधील क पात्रात, तोटीने  
पाण्याचा अखड प्रवाह येत  
असतो. पाण्याचा पृष्ठ मूल पर्यंत  
(आ. ४-२४) आल्याबरोबर  
निनाल-क्रियेने पाणी प मार्गे  
बाहेर पडते. क पात्र-एकदा



आ. ४-२४

रिते ज्ञात्यावर, तोटीतून येणाऱ्या पाण्याने व मधील पाण्याच्या पृष्ठतलाची उंची गळ इतकी होईपर्यंत प मधून बाहेर येणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह बंद असतो त्यानंतर प्रवाहाला पुन. आरंभ होऊन, पात्र रिते होते आणि प्रवाह थांबतो. अशा [रीतीने निनाला-दारा प्रवाहाची सविराम (intermittent) आत्मग (automatic) क्रिया होत असते

### वातीची संपीडता

पोकळ घृषि चेडू हाताने सहज दावता येतो, व हाताचा दाव वाढल्याबरोबर चेडू पुन गोलाकार होतो; यावरून योग्य निपीडाने वातीच्या परिमंत परिवर्तन करणे बरेच मुकर असते असे दिमून येईल रॉबर्ट बॉईल या आग्लशास्त्रज्ञास, वातीच्या परिमा परिवर्त-नाच्या अभ्यासात असे दिमून आले की विवक्षित वातिपुजाचा ताप स्थिर असल्यास, त्या वातीची परिमा आणि निपीड याच्या गुणनफ-लाची अर्ही स्थिर असते. या नियमास 'बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम' (Boyle's law) म्हणतात या नियमाचे विशेष विवरण ५ व्या प्रकरणात दिले आहे.

बॉईलनंतर इतर शास्त्रज्ञानी केलेल्या विस्तृत आणि सूक्ष्म सपरीक्षात असे आढळून आले आहे की, वातीचे निपीड बरेच जास्त असल्यास किंवा ताप अल्प असल्यास, समताप स्थितीतील वातीचे निपीड आणि परिमा याचे परिवर्तन बॉईलच्या नियमाप्रमाणे होत नाही.

### साधा उदाही उदंच (lift pump)

या उदचाला दोन षपाटें अमून, ही दोन्ही षपाटें वेवळ बर उघडणारी अमतात या उदचाची क्रिया समजण्याकरता अशी



भारवळाने घाली येताना ग  
म्यालील तरल-स्तम्भ आतन्य  
बलाने (tensile force) दोरा-  
मारम्बा वर ओढला जातो

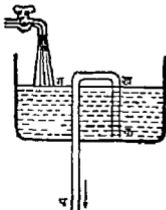
'वसुदेव पेला' आणि पारचात्य  
देशातील 'टॅंटलमकप' (Tantalus cup) इत्यादि खेळणी  
निनालाच्या प्रनियमावर आधार-  
लेली आहेत. निनालाचे वाहू  
आकृति ४-२३ मध्ये दाखविल्या-  
प्रमाणे क पात्रात बसविलेले  
असतात. ग ख शिरोभागी  
श्रीकृष्णाच्या मूर्तीचे पाय अस-  
तात. क पात्रात पाणी  
ओनीत असताना, पाण्याचा



आ. ४-२३

पृष्ठ मूर्तीच्या पायास लागता-  
वणीचे पात्रातील पाणी ग मार्गे  
निनालातून बाहेर पडते.

सौचकूप, मोन्या इत्यादि  
घुण्याकरता निनालाच्या क्रियेचा  
उपयोग करतात. आकृति ४-२४  
मधील क पात्रात, सोटीने  
पाण्याचा अखड प्रवाह येत  
असतो. पाण्याचा पृष्ठ गख पर्यंत  
(आ. ४-२४) आल्याबरोबर  
निनाल-क्रियेने पाणी ग मार्गे  
बाहेर पडते. क पात्र-एकदा



आ. ४-२४

रित झाल्यावर, तोटीतून येणाऱ्या पाण्याने क मधील पाण्याच्या पृष्ठतलाची उंची गस्त इतकी होईपर्यंत प मधून बाहेर येणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह बंद असतो त्यानंतर प्रवाहाला पुन आरंभ होऊन, पात्र रिक्त होते आणि प्रवाह थांबतो अशा [रीतीने निनाला-द्वारा प्रवाहाची सविराम (intermittent) आत्मग (automatic) क्रिया होत असते

### घातीची संपीडता

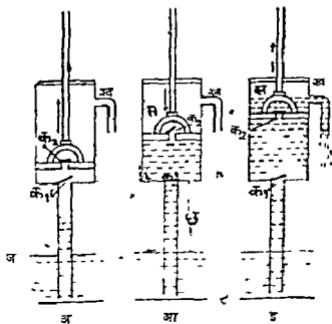
पोकळ घृषि चेडू हाताने सहज दाबता येतो, व हाताचा दाब वाढल्याबरोबर चेडू पुन गोलाकार होतो, यावरून योग्य निपीडाने वातीच्या परिमंत परिवर्तन करणे बरेच सुकर असते असे दिमून वेईल रॉबर्ट बॉईल या आगलशास्त्रशास, वातीच्या परिमा परिवर्तनाच्या अभ्यासांत असे दिमून आले की विवक्षित वातिपुजाचा ताप स्थिर असल्यास, त्या वातीची परिमा आणि निपीड याच्या गुणनफलाची अर्हा स्थिर असते या नियमास 'बॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम' (Boyle's law) म्हणतात या नियमाचे विशेष विवरण ५ व्या प्रकरणात दिले आहे

बॉईलनंतर इतर शास्त्रज्ञानी केलेल्या विस्तृत आणि सूक्ष्म सपरीक्षात अस आढळून आले आहे की, वातीचे निपीड बरेच जास्त असल्यास किंवा ताप अल्प असल्यास, समताप स्थितीतील वातीचे निपीड आणि परिमा यांचे परिवर्तन बॉईलच्या नियमाप्रमाणे होत नाही.

### साधा उदाही उदंच (lift pump)

या उदचाचा दोन कपाटे अमून, ही दोही कपाटे बंद कर उपरती असतात या उदचाची क्रिया समजण्यावरता अशी

व्यवस्था करके की, उदंचाच्या रमानील मुपल प्रथम तळाशी आहे. मुपल वर उचटल्यास  $k_1$  आणि मुपलाचा तळ यामधील वाड्डणान्या परिमैतील वायु-निपीड न्यून झाल्याने,  $k_1$  कपाट वर उघडते; तरलाच्या जे मुक्तादृष्टावरील वायुनिपीडाने  $k_2$   $k_1$  भागात तरल सिरते (आकृति ४-२५ अ पाहा). त्यानंतर मुपल खाली येनाना  $k_2$   $k_1$  यामधील तरलावर निपीड वाड्डल्याने,  $k_1$  कपाट बंद होते आणि  $k_2$  वर उघडले जाऊन, मुपलावरील स भागात तरल वर लोटले जाते (आ. ४-२५ आ पाहा). यानंतर, मुपल वर उचलताना मुपलावर आलेले तरल स मागे बाहेर पडते (आकृति ४-२५ इ पाहा). वरील उदंचाने जलाशयातून पाणी वाडावयाचे असल्यास,



आ. ४-२५

क, कपाटाची जलाशयातील मुक्त पृष्ठापामून छ उची खालील पदसहतीत दर्शविल्यापेक्षा जास्त नसावी.

$$छ = \frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{पाण्याची घनता} \times \text{भू}}$$

छ ची अर्हा ह्यापेक्षा जास्त असल्यास, ज मुक्त पृष्ठावरील वायु मण्डलीय निपीडाने क, च्या उचीपर्यंत पाणी वर लोटले जाणार नाही. वायुमण्डलीय निपीड पारदस्तम्भाने भापल्यास,

$$\begin{aligned} \text{वायुमण्डलीय निपीड} &= \text{पारदस्तम्भाची उची, द} \times \text{पारदाची घनता} \times \text{भू} \\ &= छ \times \text{पाण्याची घनता} \times \text{भू} \end{aligned}$$

$$\therefore छ = द \times \text{पारदाची सापेक्ष घनता}$$

द ची उची स्थूलमानाने ३० प्रागूल मानल्यास,

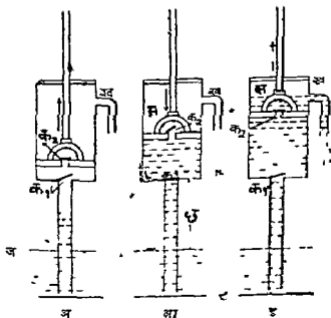
$$छ = \frac{३०}{१२} \times १३.६ = ३४ \text{ पाद.}$$

विहिरीतील पाण्याचा मुक्त पृष्ठानल ३४ पादापेक्षा जास्त होत असल्यास, या उदचाने पाणी काढणे शक्य होणार नाही. प्रत्यक्ष व्यवहारांत २६ ते २७ पाद खोलीवरूनहि पाणी काढण्यास अशा प्रकारच्या उदचाची जुळणी बरीच निर्दोष असावी लागते.

### घटोदंच (force pump)

घटोदचाच्या द्वारे पाणी मग्याच उचीवर नेता येत. उदचाच्या सज्यातील क, कपाटाची त्रिया उदाही उदचाप्रमाणेच असते (आ ४-२६ पाहा). मुषल वर उचलतांना क, कपाट व उचलले जाऊन म रम्भात पाणी सिरत यावेळी, रम्भाच्या कडेला क्षमलेले क, कपाट बंद असा नंतर मुषल साठी येताना क, क

कल्पना करू की, उदचाच्या रभातील मुपल प्रथम तळागी आहे. मुपल वर उदचल्यास क<sub>१</sub> आणि मुपलाचा तळ यामधील वायुनाच्या परिमैतील वायु-निपीड न्यून झाल्याने, क<sub>१</sub> कपाट वर उघडते; तरलाच्या ज मुक्तपृष्ठावरील वायुनिपीडाने क<sub>२</sub> क<sub>१</sub> भागात तरल शिरते (आकृति ४-२५ अ पाहा). त्यानंतर मुपल खाली येताना क<sub>२</sub> क<sub>१</sub> यामधील तरलावर निपीड वाडल्याने, क<sub>१</sub> कपाट बंद होते आणि क<sub>२</sub> वर उघडले जाऊन, मुपलावरील स भागात तरल बर लोटते जात (आ ४-२५ आ पाहा). यानंतर, मुपल वर उचलताना मुपलावर आलेले तरल स मार्गे बाहेर पडते (आकृति ४-२५ इ पाहा). वरील उदचाने जलाशयातून पाणी काढावयाचे असल्यास,



क, कपाटाची जलाशयातील मुक्त पृष्ठापामून छ उची खालील पदसहतीत दर्शविल्यापेक्षा जास्त नसावी.

$$छ = \frac{\text{वायुमण्डलीय निपीड}}{\text{पाण्याची घनता} \times भू}$$

छ ची अर्हा ह्यापेक्षा जास्त असल्यास, ज मुक्त पृष्ठावरील वायुमण्डलीय निपीडाने क, च्या उचीपर्यंत पाणी वर लोटले जाणार नाही. वायुमण्डलीय निपीड पारदस्तम्भाने मापल्यास,

$$\begin{aligned} \text{वायुमण्डलीय निपीड} &= \text{पारदस्तम्भाची उची, } d \times \text{पारदाची} \\ &\text{घनता} \times भू \\ &= छ \times \text{पाण्याची घनता} \times भू \end{aligned}$$

$$\therefore छ = d \times \text{पारदाची सापेक्ष घनता}$$

d ची उची स्थूलमानाने ३० प्रागूल मानल्यास,

$$छ = \frac{३०}{१२} \times १३.६ = ३४ \text{ पाद}$$

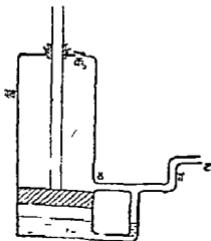
विहिरीतील पाण्याचा मुक्त पृष्ठतल ३४ पादापेक्षा जास्त राहिल असल्यास, या उदचाने पाणी काढणे शक्य होणार नाही. प्रत्यक्ष व्यवहारात २६ ते २७ पाद मोलीवरूनहि पाणी काढण्यास, असा प्रचारच्या उदचाची जुळणी बरीच निर्दोष असावी लागते

### घलोदंच (force pump)

घलोदचाच्या द्वारे पाणी बऱ्याच उंचीवर नेता येत या उदचाच्या तळातील क, कपाटाची त्रिया उदाही उदचाप्रमाणेच असते (आ. ४-२६ पाहा). मूयल वर उचलतांना क, कपाट वर उचलले जाऊन म रम्भांत पाणी शिरत यावेळी, रम्भाच्या बडेल्या यसलेले क, कपाट बंद असत नंतर मूयल खाली येताना क, बंद

वाति रम्भावाहेर टाकला जातो अशा रीतीने मुपलाच्या प्रत्येक आघा-  
साने (stroke) ट पात्रामधील थोडा वाति बाहेर टाकला जाऊन,  
उत्तरोत्तर ट पात्रातील वातीच्या निपीडान घट होते उदचाचे क,  
कपाट उघडण्यास लागणाऱ्या बलाच्या ट पात्रातील वातीच्या निपीडाचे  
बल इतके असावयास पाहिजे या मर्यादेपेक्षा ट मधील वाति-निपीड  
घटल्यान, क, न उघडल्यामुळे ट मधील वातीचे प्रसरण होऊं शकत  
नाही. यावरून एका विशिष्ट नोच मर्यादेपेक्षा, ट मधील वाति-  
निपीड न्यून करणें, या साध्या उत्क्रावाच्या द्वारे शक्य नसतें हें  
लक्षात येईल

पुढे वर्णिलेल्या उत्क्रावाच्या द्वारे पात्रातील निपीड बरेच बल्य  
करता येते ख रम्भाच्या तळाशी वाप्य निपीड बल्य असलेल्या तेलाचा  
पातळ थर असतो आकृति ४-२८ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे मुपल



आ ४-२८

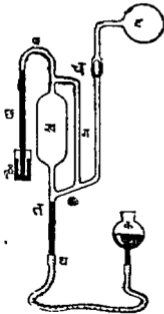
तळाशी आल्यावर, ट पात्रातील काही वायु ख रम्भ आणि मुपला-  
वरचा पृष्ठ यामध्ये प्रमरणाने येतो ट विवराच्या (opening)  
वर मुपल नेताना, मुपलावरील भाग आणि ख या दोहोतील वायु  
सपीडीत होऊन तो क<sub>२</sub> कपाटातून बाहेर पडतो रम्भाच्या त्रळ्याला  
तेल असल्यामुळे, मुपल तळाशी सस्पर्शित असताना, त्या दोहोतील  
अवकाशात वायु न राहाता, तो अवकाश तेलाने व्याप्त होतो तसेच  
मुपलावरील पृष्ठावर तेल असल्याकारणाने, ख च्या शाकणाशी मुपल  
सस्पर्शित असताना त्या दोहातील अवकाशहि तेलाने व्यापला असतो  
मुपल खाली येत असताना, तो ठ भागाच्या खाली जातो तेव्हा,

ट पात्रातील वायु प्रसरणाने ख  
आणि मुपलाचा पृष्ठ ह्यामध्ये  
येतो. मुपल वर जात असताना,  
तो वायु क<sub>२</sub> कपाटाद्वारे निःशेष  
बाहेर टाकला जातो या  
उत्स्रावाचाने पात्रातील वायूचे  
निपीड ०.१ सि मा (पारद)  
पेक्षाहि अल्प करता येते

### पारद चुपांच

(mercury suction pump)

काही आधुनिक सपरीक्षात,  
०.००१ सि मा (पारद) पेक्षा अल्प  
निपीड मयदिपर्यंत, साधनातील  
वायु उत्स्रावण करणे अवश्य असते  
हकार्ये पारदचपाचाने (mercury  
suction pump) सुलभ होत



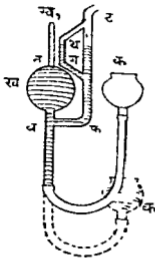
आ ४-२९



छ, ख, ग आणि च हे सर्व काचेचे भाग एकमेकाशी वाट्टी ४-२९ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जोडलेले असतात. क पारदाशय वर उचलल्यास, त्यातील पारद ख ग इत्यादि भागान शिरतो, आणि या भागातील वायु छ मार्ग बाहेर पडतो यावेळी च येथील काचेचे शस्त्राकार (cone-shaped) कपाट पारदाने वर लोटले जाते यामुळे ट भागान पारद आळ शकत नाही यानंतर क पारदाशय खाली आणताना, ख, ग या भागात शून्यक उत्पन्न होतो पारदाशय च पेक्षा खाली आल्यावर, शस्त्राकार कपाट खाली येत आणि ट ठ मार्ग मोकळा होतो यावेळी ट द्वारे पात्रातील काही वायु ग, ख या भागात प्रसरणाने येतो पारदाशय पुन वर उचलताना, पूर्वाप्रमाणेच च कपाट बंद होऊन, ख ग मधील वायु छ मार्ग बाहेर पडतो क, पारदाशय खाली आणताना, छ येथील पारदस्तम्भ आणि ख मधील पारद यामध्ये शून्यक उत्पन्न होण्यास, छ धी उची बापोडमानाती उ पारदस्तम्भापेक्षा जास्त अभावयाम पाहिजे हें लक्षात येईल तसेच ट पात्रातील अल्प निपीड स्थितोत ख, ग भागातील पारद खाली आणताना, त मार्ग मोकळा होण्यास त आणि क या मधील उची बापोडमानातीय पारदस्तम्भापेक्षा जास्त अभावी बरोल किर्येत उचड-झाप करणाऱ्या कपाटास बलाची आवश्यकता नसते प्रत्येक वेळी क पारदाशय च पेक्षा थोडा उच नेल्यास ख, ग मधील वायु निःशेष बाहेर टाकला जातो, म्हणून या पारद कूपाचाने कोणत्याहि साधिश्रा-हील वायुनिपीड अल्पतम करता येते.

### मॅक्लेडचे अल्पनिपीड-आमान (Macleod's gauge)

अनेक शास्त्रीय संपरोक्षात साधिश्रातील वायुनिपीड बरेंच बल्प असाव लागते या अल्प निपीडाचे मापन मॅक्लेडच्या अल्प-निपीडामानाने करतात ज्या साधिश्रातील अल्प निपीड मापावपाचे



आ. ४-३०

असते, ते साधित्र निपीडामानाला ट येथे जोडतात (आकृति ४-३० पाहा). ख, ही शिरोभागी बंद असलेली समच्छिद्र नळी ख कन्दाला वर जोडलेली असते ख, आणि ग नळ्याची छिद्रे सारख्याच क्षेत्रफळाची असतात. निपीडामानातील पारदाचा तल पफ या तलावर राहिल इतका पारदाशय खाली-ठेवतात. निपीड बरेच अल्प असल्यामुळे प क ही उची स्थूलमानाने वापीडमानाच्या पारदस्तम्भाइतकी असते या स्थितीत ख, ग आणि ट येथे जोडलेले साधित्र, यातील वायु-निपीड (ना) समान असते. यानंतर क पारदाशय वर उचलून, ख मधील

पारदतल त पर्यंत येईल असे करतात. या स्थितीत, ग नळीतील पारदाची उची, आकृति ४-३० मध्ये दाखविल्याप्रमाणे ख, मधील पारदतलापेक्षा जास्त असते. ट येथे जोडलेल्या साधित्रातील अल्प निपीडाचे गणन पुढीलप्रमाणे करता येते.

ख बन्द आणि त्यावरील ख, नळी याच्या परिमा अनुक्रमे पा आणि प ने दर्शवू ख, ग आणि साधित्र याचा पफ नळीमार्गे सबध असताना, ख आणि ख, मधील (पा + प) परिमेच्या वायूचे निपीड ना असते. पारदाशय वर उचलून पारदतल जेव्हा त पर्यंत आणतात त्याचवेळी ग मधील पारदतल थ पर्यंत येतो अशा स्थितीत (पा + प) परिमेच्या वायूचे सपीडन होऊन, तो प परिमा घ्यापतो, आणि त्याचे निपीड (ना + छ) इतके असते. यात छ ही त आणि थ मधील उची आहे क पारदाशय

सायनास उचलण्याने, ख, म, मधील वायूंचे समताप-संपीडन होते म्हणून,

$$(पा + प) \times ना = प \times (ना + छ)$$

$$\therefore ना = \frac{प \times छ}{पा}$$

$\frac{प}{पा}$  या निष्पत्तीची अर्हा साधारणपणे  $\frac{१}{१०००}$  असते.

छ ची अर्हा १ डि. मा. असल्यास, ना = ००१ डि. मा. या पारद निपीडामानाने वरीलप्रमाणे अन्य निपीड मापना येते.

ख, आणि ग यांचे अनुप्रस्थ सारण्याच क्षेत्रफळाचे असल्याने, वेगालत्वाच्या त्रियेने उर्चीत येणारी घट ख, आणि ग या दोन्हीही नळ्यात सारखीच होते, आणि त्यामुळे पारदस्तम्भाच्या उर्चीत वेगलवाचा परिणाम होत नाही  $\frac{प}{पा}$  या निष्पत्तीची योग्य अन्य अर्हा योजून, निपीडाचे परिणुद्ध गणन करणे शक्य असते

### प्रश्न

(१) सुवर्णाचा आपेक्षिक भार १९.३ आणि ह्याचा १०.४ वाटे. सुवर्ण आणि ह्ये यांच्या मिश्रानुचा आपेक्षिक भार १७.६ असल्यास मिश्रणामधील सुवर्ण आणि ह्ये यांचे प्रमाण काय असावे ? (मिश्रणामुळे परिमेचे परिवर्तन होत नाही अस मानावे)

(२) आकृतिद्विज्या उल्लासिता प्रतियमाचे प्रतिपादन करा.

अ आपेक्षिक भाराची एक वस्तु, अ घनतेच्या तरलाच्या पृष्ठावर हळूच अगद सोडली तरलाची खोली ख असून तर ती वस्तु  $\sqrt{\frac{2 \times \text{अ}}{\text{मू} \times (\text{अ} - \text{अ})}}$  इतक्या कालावघात तळागा जाईल हें सिद्ध करा [मू = भ्वावृष्टित्वरण]

(३) २६ घाय प्रति घ मि मा घनतेच्या वाचेच्या एका पिघचा वायूतील भार २३४ घान्य आणि पाण्यातील भार ३९ घाय असल्याम पिघेच्या आतील पोवळीची परिमा गणन करा

(४) एका वस्तूचा वायूतील भार २५ घाय त्या वस्तूचा एका तरलातील भार २० घाय आणि दुसऱ्या तरातील भार १६ घाय असल्यास, दोही तरलाच्या समान परिमच्या मिश्रणांन त्या वस्तूचा भार किती असेल ?

(५) दोन वस्तूचे पाण्यातील भार समान आहेत एका वस्तूचा पुज ३२ घाय आणि त्याची घनता ३६ घान्य प्रति घ मि मा असून दुसऱ्या वस्तूचा पुज ४० घाय असल्याम दुसऱ्या वस्तूची घनता काढा

(६) हेअरच्या उध्ववाहू नळीतील पाणी आणि भानीच नेल याच्या तरलस्तम्भाची उंची अनुक्रमे २१३३ मि मा आणि २५६० मि मा आहे यावरून मातीच्या तेंगाची घनता आणि सापिनातील वायुनिर्पीड घाच गणन करा [पाण्याचा घनता = ०.९९६ घाय प्रति घ मि मा पारदाची घनता = १३५९ घाय प्रति घ मि मा ]

(७) ०.१ प्रागु (inch) घ्याम अनगला वायूचा बुद्दुग

५१ पाद खोल असलेल्या सरोवराच्या तळापामून पाण्याच्या पृष्ठभागावर आल्यास, त्याची परिमा किती होईल ? जलवापीड-मानाची उंची ( height ) = ३४ पाद.

(८) दाईलच्या समताप परिमा निपीड नियमाचे प्रतिपादन करा.

एका ३० घ. सि. मा. परिमेच्या फुग्यातील वायु ५ सि. मा. लावी आणि १ सि. मा. व्यास असलेल्या केटाल नळीन भरला आहे. या नळीतील वायूचे निपीड २ सि. मा. पारदस्तम्भाएवढे असल्यास, फुग्यात असताना वायूचे निपीड काय असावे ?

## भूतद्रव्यांचे सामान्य गुणधर्म

वस्तूच्या वास्तव्याने काही वरिमा (space) व्यापिली जाणे. तसेच प्रत्येक वस्तूला जडता असते म्हणून वास्तव्याने परिमा व्यापणें आणि स्थिरस्थिति अथवा गति याच्या परिवर्तनाला विरोधाकारणें (जडता) हे भूतद्रव्याचे सर्वसामान्य गुणधर्म आहेत असे म्हणता येते.

### द्रव्य स्थिरता नियम

(law of conservation of matter)

सृष्टीतील भौतिकीय, रसायनिक (chemical) आणि जीविय (biological) परिवर्तनाच्या अभ्यासावरून दिसून आले आहे की, परिवर्तनात माग घेणाऱ्या वस्तूच्या द्रव्याची एकदर पुजराशी परिवर्तनाच्या आरभी जितकी होती तितकीच परिवर्तना-नंतरहि असते. सृष्टीतील सर्व भौतिक (physical) परिवर्तनात वस्तूच्या द्रव्यराशीचा नाश होत नाही हा सर्वसामान्य अनुभव 'द्रव्य-स्थिरता नियम' ह्या मोजक्या शास्त्रांनी दाखविला जातो ह्यावरून षोणत्याहि परिवर्तनात विश्वातील एकदर द्रव्यराशि अचल असते हे लक्षण येईल.

### विदूरन्यापी अभ्याहृष्टीचा नियम

(law of universal gravitation)

पृथ्वीवरील अनाधारित वस्तु स्वरणगतीने जमीनोवर पडनात आणि हे स्वरण लहान मोठ्या सर्व वस्तूंना समान असा, प्र

गॅलिलीओने प्रथम दाखविले. न्यूटनने या घटनेचे सुसंगत विवेचन पुढीलप्रमाणे केले.

“विरवातीस भूतद्रव्याच्या प्रत्येक लव (particle) मध्य प्रत्येक लवाने आकर्षला जातो. दोन लवामधील आकर्षणबल त्या लवाच्या पुजाच्या गुणनूपांशी यथानुपाति आणि त्याच्या मधील अंतराच्या वर्गाशी प्रतियुक्त असते.” ह्या आकर्षणबलास ‘अभ्यावृष्टीबल’ (gravitational force) ही संज्ञा आहे.

अभ्यावृष्टीबल  $\gamma$  ने दर्शविल्यास

$$\gamma = \frac{m \times p \times p'}{d^2} \quad \dots \quad \dots \quad \text{सं. ५-१}$$

या समीकाराने  $\gamma$  अंतरावरील दोन लवांचे अनुक्रमे  $p$  आणि  $p'$  पुत्र आहेत. ना या स्थिरांकाला ‘अभ्यावृष्टी स्थिरांक’ (gravitational constant) ही संज्ञा आहे या स्थिरांकाची अर्हा योग्य नपरीक्षेने गणन करून निश्चित केलेली आहे.

दोन लवामधील अभ्यावृष्टि बलाचा वरील नियम गृहित मानून पृथ्वीच्या एकदर पुजामुळे तिच्या पृष्ठावरील वस्तूच्या पुजावर होणाऱ्या परिणामी अभ्यावृष्टि बलाचे गणन पुढील समीकाराने करता येते असे न्यूटनने गणिताच्या साहाय्याने सिद्ध केले,

$$\text{वस्तूवर पृथ्वीचे परिणामी अभ्यावृष्टिबल} = \gamma = \frac{m \times p \times p'}{r^2}$$

या सूत्राने पृथ्वी आणि वस्तू यांचे पुत्र अनुक्रमे  $p$  आणि  $p'$  ने दर्शविले असून  $r$  ही पृथ्वीपासूनची गिज्या आहे आणि  $m$  हा अभ्यावृष्टि स्थिरांक आहे या सूत्रावरून,

$$\frac{\text{वस्तूवरील अभ्याकृष्टि बल}}{\text{वस्तूचा पुज}} = \frac{v}{r} = \frac{v \times v}{v^2}$$

या समीकाराच्या उजव्या पक्षाची अर्हा स्थिर आहे. आणि डाव्या पक्षाकडील पदसहति न्यूटनच्या दुसऱ्या गति नियमाप्रमाणे त्वरण दर्शविते; म्हणून,

$$\text{मुक्तपणे पडणाऱ्या वस्तूच्या गतीतील त्वरण } a = \frac{v \times v}{r}$$

पृथ्वीच्या पृष्ठावर मुक्तपणे पडणाऱ्या कोणत्याही वस्तूच्या गतीतील त्वरण (a) सर्व स्थळी समान असले पाहिजे हे वरील सूत्रावरून दिसून येईल.

वरील सूत्राच्या व्युत्पत्तीत, पृथ्वीचा आकार पूर्णपणे गोल आहे हे गृहित आहे. वास्तविक पृथ्वीचा पूर्व-पश्चिम व्यास उत्तर-दक्षिण व्यासापेक्षा थोडा जास्त आहे. पृथ्वीचा हा उर्ध्वजोय (ellipsoidal) आकार लक्षात घेऊन वरील समीकारात थोडी शुद्धता आणल्यास  $\frac{v}{r}$  ह्या म्हाकृष्टि-त्वरणाची अर्हा पृथ्वीवरील स्थळाच्या अक्षांशावर अवलंबून असते असे गणिताने सिद्ध करता येते.

कोपनिकसच्या काळात सूर्याची आणि बुध, शुक्र इत्यादि ग्रहांची पृथ्वीभोवती दिसून येणारी परिभ्रमणाची प्रत्यक्ष गति ही त्याची सत्य गति आहे असे मानित परंतु सूर्य आणि ग्रह यांची पृथ्वीभोवती दिसून येणारी ही गति केवळ सापेक्ष असून वास्तविक पृथ्वी आणि इतर ग्रह सूर्याभोवती उर्ध्व कक्षेत परिभ्रमण करीत असावेत असे मत कोपनिकसने आपल्या प्रथात प्रतिपादिले. या मताचा केप्लर, गॅलिलीओ यानी पुरस्कार केला. सूर्याभोवतीच्या या परिभ्रमणगतीला आवश्यक असणारे आरीय (radial) दिशेने



ग्रहांच्या मूर्त्यांमध्ये ओडणारे बल कोणत्या कारणाने उत्पन्न होत असावे याचा उद्गडा न्यूटनने वरील अभ्याकृष्टिवल नियमाच्या आधारेने केला. न्यूटनने गणिताने सिद्ध केले की, सूर्य आणि ग्रह यामधील अभ्याकृष्टिवलाने ग्रहांच्या मूर्त्यांमोडतीच्या गतीला आवश्यक असणाऱे त्वरण उत्पन्न होते. याबद्दल परस्परास आकर्षण करणे हा विद्वानीस अश्विल द्रव्यांचा एक सामान्य गुणधर्म दिवतो.

### अभिघटितता (plasticity)

मेण, लोणी, मातीचा गोळा यांचा आकार बलाच्या प्रयोगाने बदलता येतो; आणि बल नाहीसे झाले तरी त्या वस्तूना पुनः पूर्वीचा आकार प्राप्त होत नाही ह्या घटनेचे कारण मेण, लोणी इत्यादि वस्तूना अभिघटितताचा गुणधर्म आहे किंवा त्या वस्तू 'अभिघट्य' (plastic) आहेत असे आपण म्हणतो.

### ॥ प्रत्यास्थता (elasticity)

चेंडू, दोरी इत्यादि घृषोच्या (rubber) वस्तूंचा आकार बलाने बदलता येतो तथापि हे बल नाहीसे झाल्यास या वस्तूना पुनः पूर्वीचा आकार येतो वस्तूचे विकृपण (deformation) करणारे बाह्यबल नाहीसे झाल्यास पूर्वीचा आकार घण्याच्या वस्तूंच्या या प्रवृत्तीला 'प्रत्यास्थता' ही सजा आहे. प्रत्यास्थतेची कल्पना येण्याकरिता येथे घृषि-वस्तूचे उदाहरण दिले. कारण घृषिवस्तूंचा हा गुणधर्म सामान्य वस्तूंच्यामहि मातीत असतो तथापि प्रत्यास्थता हा सर्व वस्तूंनीच लक्षममुहाचा सामान्य गुणधर्म आहे हे मपरीभेने सिद्ध झाले आहे.

वस्तूंच्या परिमित बाह्यबलाने झालेल्या परिवर्तनाच्या 'विकृपण' ही सजा दिलेली आहे. रबराची दोरी ज्या प्रमाणाने

लाव ताणाची त्या प्रमाणात ताणणाच्या बलाची मात्राहि वाढवावी लागते याबद्दल प्रत्यास्थवस्तूत वाढत्या विरूपणाला विरोध करणारे आंतरिक बलहि (interual force) वाढते असे दिसून येईल वस्तूच्या एकक क्षेत्रफळावरील आंतरिक बलाला 'प्रत्याबल' (stress) असे म्हणतात आणि बाह्यबलाने विरूपित झालेल्या वस्तूच्या स्थिरस्थितीत प्रत्याबलाची अर्हा वस्तूच्या एकक क्षेत्रफळावरील बाह्यबलाइतकी असते

### प्रत्यास्थतेची मर्यादा

विरूपित वस्तु पूर्वस्थितीत येण्यास तिचे विरूपण काही मर्यादेच्या आत अमावे लागते बाह्यबल वाढवीत गेल्यास, वस्तूचे विरूपणहि वाढते आणि काही विशिष्ट मर्यादेच्या आत विरूपणाची अर्हा असल्यास बल नाहीसे झाल्यानंतर त्या वस्तूस पुन पूर्वोचा आकार येतो. परंतु बाह्यबलाने या विशिष्ट मर्यादेच्या पलीकडे विरूपण झाल्यास बाह्यबल नाहीसे झाल्यानंतरहि वस्तूस पूर्वोचा आकार येत नाही अशा स्थितीत वस्तूचा विरूपित आकार तसाच राहिल्यास ती वस्तु 'प्रत्यास्थसीमेपलीकडे विरूपित' झाली असे म्हणतात.

प्रयोगशाळेंतील प्रत्यास्थतेसंबंधी मपरीक्षात वस्तूचे विरूपण प्रत्यास्थ-सीमेपेक्षा जास्त होऊ नये अशी दक्षता घ्यावी लागते गृह, सेतु (bridge) इत्यादींच्या बांधकामातील रचनेमुळे खांब आणि तुळ्या (beam) मान उत्पन्न होणारे विरूपण प्रत्यास्थ सीमेपेक्षा वरचे अल्प ठेवण्याची दक्षता स्थापत्य विशारद (civil engineers) घेतात

मान्य वस्तूवर एकाच दिनेने बाह्यबलाची प्रिया केल्यास त्या बलाच्या दिशेतील वस्तूच्या आपामाचे परिवर्तन होत आयात

परिवर्तनाचा परिमाद अन्यास पुढे सांगितल्याप्रमाणे केल्यास, बाह्यबल व त्यामुळे होणारे आयाम-परिवर्तन याचा परस्पर संबंध समजणे बरेच सुलभ होई.

(अ) धानूच्या तारेचे एक टोक पकडित घट्ट धरून तार अघोलव सोडावी तारेच्या दुसऱ्या टोकाम निरनिराळे भार (weights) अडकवून लावोच्या परिवर्तनाचे मापन करावे. या या मापनावरून दिवून येंडेल की, तारुणारे बल ज्या प्रमाणात वाढवावे त्याच प्रमाणात तारेची लांबी वाढते.

लांबीचे परिवर्तन  $\propto$  ताणणारे बल.

(आ) एकाच धानूच्या दोन सारख्या जाडीच्या, आखूड व लांब ताराची टोके पकडित घट्ट धरून त्या अघोलव सोडाव्या. ताराच्या दुसऱ्या टोकाल सारखे भार अडकविल्यास, दोन्ही ताराची लांबी परिवर्तन करणार बाह्यबल सारखेच असते. या ताराच्या लांबी-तोंड परिवर्तनाच्या मापनावरून दिवून येंडेल की, सारख्याच जाडीच्या दोन तारांना ताणणार बल सारखेच असल्यास लांबीचे परिवर्तन मूळ लांबीच्या प्रमाणात होई.

लांबीचे परिवर्तन  $\propto$  तारेची मूळ लांबी

(इ) एकाच धानूच्या आणि निरनिराळ्या जाडी असलेल्या दोन सारख्याच लांबीच्या तारा घेतल्यास,

समान बाह्यबलाने होणारे लांबीचे परिवर्तन  $\propto \frac{1}{\text{अनुप्रत्यक्षताचे घटक}}$

जरील तीन मपरीशाचा निष्कर्ष पुढील प्रमाणे दर्शवितो येंडेल.

$$\text{लाबीचे परिवर्तन} \propto \frac{\text{मूळची लाबी} \times \text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्य छेदाचे क्षेत्रफळ}}$$

ह्या वरून,

$$\text{लाबीचे परिवर्तन} \propto \frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्य छेदाचे क्षेत्रफळ}} \times \text{मूळची लाबी}$$

किंवा,

$$\frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्य छेदाचे क्षेत्रफळ}} \propto \frac{\text{लाबीचे परिवर्तन}}{\text{मूळची लाबी}}$$

अथवा

$$\frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्य छेदाचे क्षेत्रफळ}} = \epsilon \times \frac{\text{लाबीचे परिवर्तन}}{\text{मूळची लाबी}}$$

यावरून,

$$\frac{\frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्य छेदाचे क्षेत्रफळ}}}{\frac{\text{लाबीचे परिवर्तन}}{\text{मूळची लाबी}}} = \epsilon \quad \text{.. स. (५-२)}$$

रे ह्या स्थिरावाला 'रेखीय प्रत्यास्यता मापांक' (Young's modulus of elasticity) अशी संज्ञा आहे. वरील समीकाराच्या बाब्या पक्षातील सर्व राशींचे संपरीक्षण मापन वरून रे

च्या अहेंचे गणन करता येत अशा गणनांखून दिमून आणें आहे की,  
रे ची अर्हा संपरोक्ष्य तारेच्या घातूवर अवलंबून असते

वरील समीकारातील  $\frac{\text{लांबीच परिवर्तन}}{\text{मूल लांबी}}$  ह्या निष्पत्तीची

अर्हा तारेच्या एकक लांबीच परिवर्तन दर्शविणें आणि ह्या निष्पत्तीस  
'अन्वायाम विकार' (linear strain) म्हणतात

$\frac{\text{बाह्यबल}}{\text{अनुप्रस्थ छेदाच क्षेत्र फळ}}$  या निष्पत्तीची अर्हा, क्षेत्रफळाच्या एकक

मागावर कार्य करणार बल दर्शविण ही निष्पत्ति 'प्रत्याबला'  
(stress) समान असते वरील परिभाषेचा उपभाग करून,

• प्रत्याबल  $\propto$  अन्वायाम विकार असा म्हणता येईल

अथवा  $\frac{\text{प्रत्याबल}}{\text{अन्वायाम विकार}} = \text{रे}$  स ५-३

हूकचा प्रत्याबल विकार नियम (Hooke's law)

बाह्यबलाने होणार विरूपण प्रत्यास्य मीमेच्या आत असायाम  
अन्वायाम विकार प्रत्याबलाशी यथानुपाति असता असा वरील  
समीकारावरून दिसून 'अन्वायाम विकार आणि प्रत्याबल  
यथानुपाति असतात', या नियमाच हूक या शास्त्रज्ञाने प्रथम स्पष्टपणे  
विवरण केलें म्हणून या नियमास 'हूकचा प्रत्याबल-विकार-नियम'  
(Hooke's law) म्हणतात त्याच आणि अनुप्रस्थ छेदाच  
परिवर्तन ह्या संपरोक्तात अस्य असा यानें हूकच्या प्रत्याबल विकार-



चीकटी एकमेकांशी ट आणि ठ पट्ट्यानी अग जोडलेल्या असतात की, प्रत्येक चीकट तिच्यातून जाणाऱ्या ताला समांतर सरवू शकते त चीकटीला खाली पुरेसा भार अडकवून व तार घट्ट ताणून ठेवलेली असते. व चीकटीला आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे निरनिराळे भार अडकवून व तार ताणणाऱ्या बलाचे परिवर्तन करता येते. व तारेच्या लांबीचे परिवर्तन मोजण्यास प्रासव-तल (spirit level) आणि अणुमान-भ्रमीचा उपयोग करतात. प्रासव-तलाचे एक टोक त चीकटीतील एका बिंदूवर स्थिर ठेवलेले असते. प्रासव तलाचे दुसरे टोक व चीकटीला सिद्धबलेल्या अणुमान-भ्रमीच्या अपावर आधारलेले असते.

पारड्यातील भार  $P_1$  असताना भ्रमि फिरवून प्रासव-तलाचा बुडबुडा मध्यावर आणतात. ह्या स्थितीत भ्रमीचे वाचन घेतात. समजा ते  $v_1$  आहे त्यानंतर पारड्यातील भार वाढविल्यास व तारेची लांबी वाढते. व चीकट आणि त्या समवेत भ्रमीवरील प्रासव-तलाचे टोकहि तारेच्या लांबीच्या वर्धनाइतके खाली उतरते. या स्थितीत पुन्हा प्रासव-तलाचा बुडबुडा मध्यावर येईपर्यंत भ्रमि फिरवून भ्रमीचे दुसरे वाचन घेतात समजा भ्रमीचे हें वाचन  $v_2$  आदि आणि पारड्यातील ह्यावेळच्या भाराचे वाचन  $P_2$  असल्यास,  $(P_2 - P_1) \times M$  ह्या बाह्यबलाने व तारेच्या लांबीचे परिवर्तन  $(v_2 - v_1)$  इतकं होणे हे स्पष्ट होईल.

पारड्यातील भार क्रमाक्रमाने वाढवितात आणि प्रत्येक वेळी भाराचे आणि वर दर्शविल्याप्रमाणे भ्रमीचे वाचन घेतात. तारेचा अनुप्रस्थ छेद वर्तुळाकार अमून त्याची विज्या व असल्यास अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ (प्ला. अ<sup>२</sup>) असते. व तारेची मूळ लांबी त्या अमल्यात आणि  $(v_2 - v_1)$  ह लांबीतील परिवर्तन ल ने दर्शविल्यास,  $\frac{L}{L_1}$

हो अन्वायाम विकाराची अर्हा होय. हा अन्वायाम विकार

$(पु_2 - पु_1) \times मू$  ह्या बाह्यबलाने झाला असल्यामुळे,

$$\frac{\frac{(पु_2 - पु_1) \cdot मू}{व्या. त्र^2}}{\begin{matrix} ल \\ ला \end{matrix}} = रे$$

$(पु_2 - पु_1)$  ही राशी पु ने दर्शविल्यास,  $\frac{ल}{ला}$  अन्वायाम विकार

$\frac{पु \cdot मू}{व्या. त्र^2}$  ह्या प्रत्याबलाने होतो

म्हणून,

$$\frac{\frac{पु \cdot मू}{व्या. त्र^2}}{\begin{matrix} ल \\ ला \end{matrix}} =$$

किवा,

$$\frac{पु \cdot मू \cdot ला}{व्या. त्र^2 \cdot ल} = रे \dots \dots (स. ५-४)$$



ह्या समीकारावरून रेच्या अर्हेचे गणन करतात. तागेच्या घातूचा रेखीय प्रत्यास्थता मापाक मापणारे बरोल माधिन्न सर्क (Searle) ह्या शास्त्रज्ञाने प्रथम उपयोगान आणले.

### परिमा प्रत्यास्थता (volume elasticity)

मान्द्र वस्तूच्या सर्व पृष्ठभागावर अभिलत्र प्रत्याबल ममान

अमन्यास त्या मान्द्राच्या परिमेचे परिवर्तेन होणे.

परिमेचे परिवर्तेन  
मूळ परिमा

ह्या निष्पत्तीला परिमाविकार ही सजा दिल्यास,

प्रत्याबल  
परिमा विकार

ह्या निष्पत्तीची अर्हा, वस्तूच्या मूतद्रव्यावर अवलवून असने, अमे सपरीक्षेने दिमून आणे आहे

$$\frac{\text{प्रत्याबल}}{\text{परिमाविकार}} = \text{स्या}$$

‘स्या’ ह्या स्थिराकाला ‘प्रकाय प्रत्यास्थता मापाक’ (bulk modulus of elasticity) किंवा परिमा प्रत्यास्थता गुणक (coeff of volume elasticity) म्हणतात

काही वस्तुद्रव्याचे रेखीय आणि प्रकाय मापाक पुढील सारणीत दिले आहेत.

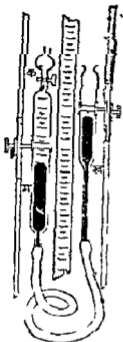
वस्तु द्रव्य	रेखीय प्रत्यास्थता मापांक	प्रकाय प्रत्यास्थता मापांक
स्फटधातु (aluminium)	$13.04 \times 10^{11}$ घावल (जि मा) <sup>२</sup>	$13.46 \times 10^{11}$ घावल (शि मा) <sup>२</sup>
तांबें (ताम्र) (copper)	$12.3 \times 10^{11}$ "	$13.9 \times 10^{11}$ "
सुवर्ण (gold)	$6.0 \times 10^{11}$ "	$26.6 \times 10^{11}$ "
अयस् (iron)	$29.3 \times 10^{11}$ "	$16.1 \times 10^{11}$ "
व्यायम (steel)	$20.9 \times 10^{11}$ "	$16.4 \times 10^{11}$ "
शिस (lead)	$1.62 \times 10^{11}$ "	$4.0 \times 10^{11}$ "
स्पक् (nickel)	$20.2 \times 10^{11}$ "	$17.6 \times 10^{11}$ "
महातु (platinum)	$16.6 \times 10^{11}$ "	$24.7 \times 10^{11}$ "
रजत (silver)	$7.9 \times 10^{11}$ "	$10.9 \times 10^{11}$ "
दलोताम्र (manganese)	$12.4 \times 10^{11}$ "	$12.1 \times 10^{11}$ "
अचलातु (invar)	$14.1 \times 10^{11}$ "	

साक्षात आणि तरल वस्तूत याहावत्राने होणार परिमा-परिवर्तन बरच अल्प असत त्या मानाने वातीय वस्तूच परिमापरिवर्तन जास्त अस यामुळे ह्या परिवर्तनाच मापन करणें सुलभ असत

बॉयलचा समताप परिमा निर्पांड नियम (Boyle's law)

ग वा वाचच्या समष्टिद (uniform bore) नळाच्या एका टोराळा व ही शिक्विपिधा (stop cock) आहे अट्टनि ५-२ (अ) पाहा शिक्विपिधेने विवक्षित परिमचा वाति ग नळीच समाप्त करता येता शिक्विपिधेसमून ग नळीच्या कोण्याहि अंजन रेवपयत

ब



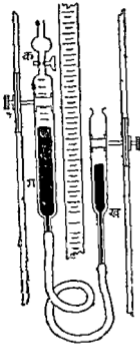
आ ५-२ (अ)

वातीच्या परिमित परिवर्तन झालेले दिसून आट्टि  
 ५-२ (अ) मध्ये दाखविलेल्या स्थितीत ग नळीमधील समावृत  
 वातीचे निपीड ना, ने दर्शविण्यास,

$$n_1 = n_2 \text{ (वायुमण्डलीय निपीड) } + n_3 = n_2 + n_3$$

ह्यात  $n_1$  हा ग आणि ख नळ्यातील पारदर्शकाच्या उंचीतील भेद असून  
 $n_2$  च वाचन च ह्या उदग्र श्रेणीने घेता येत या स्थितीत, ग वरील

नळीची धारिता (capacity) निच्या-  
 वरील अपतान वाचता येते ख नळीचा  
 वरचा भाग बराच रुंद आणि रमाकार  
 असतो ग आणि ख नळ्याची छालची  
 टोके घृषि नळीने एकमेकांम जोडून वरील  
 साधित्र ऊर्ध्ववाहू-नालाकार स्थितीत  
 लाकडाच्या चौकटीवर बसविलेले असते.  
 ब शिक्षिपिधा उघडी ठेवून ख नळीच्या  
 रमपात्रात पुरेमा पारद ओततात नंतर  
 ख नळी वर उचलून ग नळीमधील पार-  
 दाची पातळी शिक्षिपिधेपर्यंत वाढवितात  
 अशा रीतीने ग नळीतील सर्व वायु बाहेर  
 टाकला जातो या स्थितीत ग नळीचे  
 वरच टोक संपरीक्ष्य वाति साठविलेल्या  
 पात्रास जोडून, ख नळी हलके हलके  
 खाली आणतात क द्वारे संपरीक्ष्य कोरडा  
 वाति ग नळीत घेऊन ख नळी स्थिर  
 करतात आणि शिक्षिपिधा फिरवून ग  
 नळीत संपरीक्ष्य वाति समावृत करता  
 येतो ख नळी वर-खाली सरकविण्यास



आ ५-२ (आ)

अकनाने वातीच्या परिमेचे वाचन घेतात समजा हे वाचन पा<sub>१</sub> आहे नंतर ख नळी वर सरकवून संपरोक्ष्य वातीची परिमा आणि ख आणि ग मधील पारदतलाच्या उंचीतील भेद याची यथानम घेतलेली अनेक वाचने नोंदून ठेवतात. ख नळी खाली सरकवून आकृति ५-२ (आ) मध्ये दर्शविलेल्या स्थितीत असल्यास, ख आणि ग नळ्यामधील पारद-तलाच्या उंचीतील भेद न' असल्यास, ग नळीतील वातीचे निपीड (ना-न') असते निपीड आणि परिमा याची निरनिराळी वाचने घेताना, वातीच्या निपीडाचे परिवर्तन शीघ्र होत असल्यास वातीचा ताप वाढण्याचा संभव असतो वातीत उत्पन्न झालेला हा ऊष्मा, सवाहन (conduction) आणि विकिरण (radiation) इत्यादिद्वारा बाहेर जाऊन वातीचा

ताप पूर्ववत् होण्यास थोडा वेळ लागतो यास्तव ख नळी खाली किंवा वर सरकविल्यानंतर थोड्या वेळाने वातीची परिमा आणि निपीड यांची वाचने घेतात

समतापावर वातीचे निपीड ना<sub>१</sub>, ना<sub>२</sub>, ना<sub>३</sub> इत्यादि असताना त्याची परिमा यथानुक्रमे पा<sub>१</sub>, पा<sub>२</sub>, पा<sub>३</sub> इत्यादि असल्यास, ना<sub>१</sub> × पा<sub>१</sub> = ना<sub>२</sub> × पा<sub>२</sub> = ना<sub>३</sub> × पा<sub>३</sub>, असा निपीड आणि परिमा

याचा सबंध प्रत्ययास येतो. निपीड आणि परिमा याचा वरील सबंध पुढील नियमात स्पष्ट केलेला आहे "वातीचा पुज स्थिर अमल्यास समतापावर वातीचे निपीड आणि त्याची परिमा याचे गुणनफल स्थिर असत " या नियमाला 'वॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम' म्हणतात

ना × पा = स्थि, (स्थिरांक) ..... सं. ५-५.  
 ह्या सूत्राने वरील नियम दर्शविण्याचा प्रघात आहे

घ घनता अमलेल्या पा परिभेच्या वातीचा पुज पु असल्यास,

$$पु = घ × पा$$

$$\frac{पु}{घ} = पा$$

वॉईलच्या समताप परिमा निपीड नियमान्वये,

$$ना पा = स्थि$$

$$यावरून, ना × \frac{पु}{घ} = स्थि$$

$$ना × पु = स्थि × घ$$

वातीचा पुज पु स्थिर अमल्याने

$$ना \propto घ$$

घनता आणि निपीड यांचा वरील सबंध लक्षात घेऊन वॉईलचा समताप परिमा निपीड नियम पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल " समताप

परिवर्तनात विशिष्ट पुजाच्या वातीची परिमा निपीडाशी प्रतीपा-  
नुपानि असते; आणि त्याची घनता निपीडाशी अनुपानि असते. "

बॉईलच्या समताप परिमा निपीड नियमाच्या माहात्म्याने वातीच्या  
समताप प्रत्यास्यता मापाचाचे (isothermal elasticity)  
गणन पुढील प्रमाणे करता येते. वातीचे निपीड ना आणि परिमा पा  
असून समताप परिवर्तनानंतर त्याच्या परिवर्तित अर्हा अनुक्रमे  
(ना + ना') आणि (पा + पा') झाल्यास,

$$(ना + ना') \times (पा + पा') = ना. पा$$

$$\therefore ना. पा + ना पा' + ना' पा + ना' पा' = ना पा$$

$$\therefore ना. पा' + ना' पा + ना' पा' = ०$$

ना' आणि पा' अल्प अगच्यास (ना' पा') ही अल्पतर अर्हा  
अपेक्षी राशी उपेक्षित,

$$ना' पा + ना पा' = ० \dots \dots (म ५-६)$$

$$\frac{\text{ना}'}{\frac{\text{पा}'}{\text{पा}}} = \text{ना.}$$

करोल समीकारातील डाव्या पक्षातील ना' म्हणजे समताप परिवर्तनातील निपीडाचे वर्धन आणि  $\frac{\text{पा}'}{\text{पा}}$  निष्पत्ति वातीचा परिमा विकार अमल्यामळे,

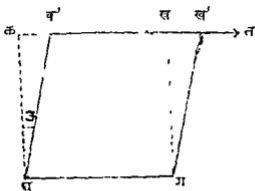
$$\frac{\text{ना}'}{\frac{\text{पा}'}{\text{पा}}} = \frac{\text{निपीडाचे वर्धन}}{\text{परिमा विकार}} = \text{वे (समताप परिमा प्रत्यास्थनामापाक)} = \text{ना}$$

वातीचे निपीड पारदस्तम्भाने मापल्यास, वे ची अर्हां  $\frac{\text{घाबल}}{(\text{गि. मा.})^2}$  ह्या एकवाल पुढील प्रमाणे गणन करतात.

पारदस्तम्भाची उंची  $\times$  पारदाची त्या तापावरील घनता  $\times$  भू = वे  
[ घाबल प्रति (गि मा )<sup>२</sup> ]

आयाम विकार आणि परिमा विकार या व्यतिरिक्त सान्द्राचे दुसरें विरूपण संभवतें आकृति ५-३ मध्ये दर्शविण्याप्रमाणे कक्षगथ या सान्द्राचा गथ भाग मेजावर पक्का निळवून कथ हौ भुजा अमलेल्या पृष्ठभागावर त ह्या स्पर्शरेखीय (tangential) शल्याशलाच्या त्रिभौने कक्षगथ चे क'व' गथ हें अल्प विरूपण जातयान,

$$\frac{\text{त}}{\angle \text{कपक}'} = \frac{\text{त}}{\angle \text{ऊ}}$$

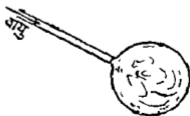


आ ५-३

ह्या निष्पत्तीस 'परिवृढता मापांक' (rigidity modulus) अशी संज्ञा आहे. परिवृढता मापांकाची अर्हा वस्तूच्या द्रव्यावर अवलंबून आहे.

### नल्ल-अतति (surface tension)

पारजानून बाहेर येणाऱ्या पाण्याच्या लहान थेंबाचा आकार (shape) थोडा वट्ट (गोलाकार) नियमित दिसतो. धुळीच्या कणाच्या अथवा वानमून काढलेल्या धातूच्या कणाच्या आकारात असा नियमितीपणा नसतो. यावरून तरलांच्या पृष्ठभागाला विविध आकार घेण्याची प्रवृत्ति असल्याचे दिसून येते

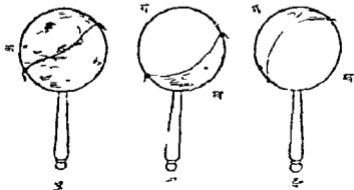


आ. ५-४



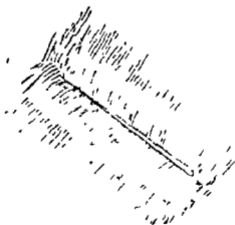
मुलाच्या सेंट्रमातील धूपि-कृष्णान वायु जास्त भरला तर त्या पुण्याचा आकार बाहेर बाहेर घर्षीते पातळ आवरण तापले जाते कृष्णातील वायु बाहेर जाऊ दिल्याम पुण्याचा आकार पुषीच्या प्रत्यास्यतेने पुनवतु होतो सावणाच्या विलयनाचा पुगाहि (आकृति ५-४ पाहा) नलीच्या टांकाकडून जास्त वायु भरल्याम मोठा शेता, भाणि वायु बाहेर जाऊ दिल्याम लहान होतो यावम्न, विलयनाच्या पातळ घराचा पृष्ठभाग प्रत्यास्य वस्तुप्रमाणे प्रसरणाला विरोध करतो असे दिमते, विडयन आणि तरल याच्या पृष्ठभागाचे प्रत्यास्य वस्तुच्या पातळ पडद्यासी अनगारे साम्य पुढील मपरोक्षेवम्न अधिक स्पष्ट होईल.

क हे तारेचे बलय अम्न या वस्त्याच्या एका व्यानाच्या दान टोकाम व्यासापेक्षा थोडा जास्त लावीचा वारीव दौरा घड घाघाचा (आ ५-१ अ पाहा) तारेचे बलय सावणाच्या विलयनात उडवून हलक्या झालाने बाहेर काढल्याम बलयावर विलयनाचा एक पातळ घर घेता होतो दोग विलयनाते मिजून विलयनाच्या



पातळ घराच्या पृष्ठभागावर जसा ठेवावा तसा राहतो; म्हणजे किंशिष्ट रेषामार्गावर स्थिर होण्याची दोऱ्याची प्रवृत्ति नसते. आकृती ५-५ (अ) वाहा. या विलयनाचा ग भाग किंचित् तापविलेल्या मळईने स्पर्श करून नाहीसा केल्यास आकृति ५-५ (आ) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दोरा स्व ह्या अवशिष्ट भागाबद्दल ओढला जाऊन धनुष्यामारसा पर्वत्र समवत्र होतो. ग भाग नाहीसा केल्यास ग बद्दल दोऱ्याची कमान भाकृति ५-५ (इ) मध्ये दाखविल्याप्रमाणे होते.

बारीक मुई आडवो घसन एका रुंद पात्रातील स्वच्छ पाण्याच्या पृष्ठभागावर हलकेच मोडल्यास, मुई पाण्याच्या पृष्ठावर चरंगते. ताणलेल्या घुपीच्या पातळ पडद्यावर जड वस्तु ठेवल्याने तो



पडदा जसा खोलगट होईल त्याप्रमाणे मुईखालील पाण्याचा पृष्ठभाग थोडा खोलगट होऊन मुईचा भार तोलून धरतो असे पाण्याच्या पृष्ठतलाचे निर्गमन केल्यास दिसून येते ( आकृति ५-६ पाहा ).

ताणलेल्या घुपीच्या पृष्ठभागावर स्पर्शरेखीय बल असते. तरल आणि विलयन यांच्या पृष्ठभागावर अनाच प्रकारचे सर्व



आ ५-७

दिशानी मारखेच अमणारे स्पर्शरेखीय बल आहे अशी कल्पना केल्यास, तरल पृष्ठाच्या आकुचनादि प्रवृत्तीचा उलगडा होऊ शकतो आकृति ५-७ मध्ये दाखविलेल्या तरलाच्या पृष्ठभागावर 'कख' रेषा कोणत्याहि दिशेने काढावी या रेषेच्या एका

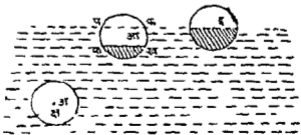
बडेवरील स्पर्शरेखीय बल ता आहे असे मानल्यास  $\frac{ता}{कख}$  ह्या

निष्पत्तीस 'तल-आतति' अशी संज्ञा आहे '  $\frac{ता}{कख} = ति, (तल आतति)$

ति या बलाची दिशा कख ला लव असते दोरा आणि न्या सन्निध असलेल्या तरलाचे व्यूहाणू यांच्यावरील लव आणि ग या दोन भागावरील तल-आततीचे परिणामी बल विरुद्ध दिशेने असून दोरा कोणत्याहि रेषामार्गावर असला तरी या बलाचे समतोलून होत परंतु ग अथवा ख भाग नाहीसा झाल्यास दोरा आणि त्या सन्निध असलेल्या तरलाचे व्यूहाणू अवशिष्ट भागावरील अतुलित (unbalanced) तलानतीने अवशिष्ट भागाकडेच ओढणे जाताने

## तलाततीचा व्यूहाणु-बल सिद्धान्त (molecular theory of surface tension)

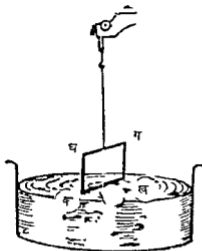
तलाततीची उपपत्ती लाप्लास या शास्त्रज्ञाने सुचविली. 'व्यूहाणुमधील अंतर अल्प असल्यास त्याचे परस्परावरील आकर्षण बल बरेच जास्त असते, आणि अंतर अल्प नसल्यास हे व्यूहाणु-आकर्षण बल उपेक्षणीय असते,' ही या उपपत्तीतील मध्यवर्ती कल्पना आहे या उपपत्तीनुसार असे म्हणता येईल की, अ येथील व्यूहाणु भोवती क्ष विज्येचा गोल कल्पिल्यास ज्या व्यूहाणूचे केंद्र या गोलाच्या आत नसतील त्याचे अ येथील व्यूहाणूवरील आकर्षण बल उपेक्षणीय असत (आ ५-८ पाहा). क्ष ला 'व्यूहाणु-आकर्षण' बलाच्या अंतराची मर्यादा म्हणता येईल अ, आ, इ .. (आकृति ५-९ पाहा) येथील व्यूहाणूवरील व्यूहाणु-आकर्षण बलाचे विवेचन पुढीलप्रमाणे करता येईल. अ भावती काडलेला क्ष विज्येचा गोल संपूर्णपणे तरलात आहे म्हणून अ येथील व्यूहाणूला आकर्षित करणाऱ्या या गोलातील व्यूहाणूंची सख्या सर्व दिशांनी सारखीच असते यामुळे अ येथील व्यूहाणूवर आकर्षण बल सर्व दिशांनी सारखेच असल्याने अ येथील व्यूहाणूवरील परिणामी बल शून्य आहे



आ येथील व्यूहाणूवर परिणामी आकर्षण बल अधोलम्ब आहे, कारण क्व या रेखांकित भागातील व्यूहाणूच्या आकर्षणबलाचे समतोलन करण्यास तरलाच्या पफ मुक्तपृष्ठावरील भागात वाष्पस्थितीतील व्यूहाणूची सध्या पुरेशी नाही. तसेच तरलपृष्ठावरील हे येथील व्यूहाणूवर रेखांकित गोलार्धातील व्यूहाणूचे आकर्षण बल अधोलम्ब आहे हे अधोलम्ब आकर्षण बल, व्यूहाणू जसजसा तरलाच्या मुक्त पृष्ठाकडे येईल तसतसे वाढत जाते असे आकृति ५-८ वरून घ्याता येईल (आ आणि इ भाग पाहा) या व्यूहाणू-आकर्षण बलाच्या प्रियेने तरलाच्या मुक्त पृष्ठावरील व्यूहाणूची सध्या शक्य तितकी अल्प करून तरलाच्या आतून भागात शक्य तितके जास्त व्यूहाणू सामाविण्याची प्रवृत्ति तरलाने उत्पन्न होईल तरलाच्या मुक्त पृष्ठाचे क्षेत्रफळ घटविण्याने मुक्तपृष्ठावरील व्यूहाणूची सध्या अल्प करणे शक्य असते यावरून तरलाच्या मुक्तपृष्ठाची मकोचनाकडे प्रवृत्ति का अभावी याची स्पष्ट कल्पना येईल

तरलाचे लहान थेंबे गोलाकार असतात परंतु मोठ्या थेंबाना सान्द्राच्या स्तराचा (plane surface) आधार असल्यास त्याचा आकार चापट आणि आधार नसल्यास उर्वर दिशेने लांबट असा असता पाणी भरलेल्या घृषि-पिशवीट्या (rubber bag) आधार दिल्यास तीही अशीच चापट होते आधार नसल्यास पाण्याच्या माराने घृषि-पिशवीट्या लांबट होते यावरून, तरलाच्या थेंबाचा भार आणि तुलनात, या दोहोंवर थेंबाचा आकार बदलून जाईल हे लक्षात येईल

मलानति बल मापण्याच्या रीतीचे दिग्दर्शन करून हा विभाग संपवू नसताना ही तारेची चौकट तुलेच्या एका पारड्याला अडवून तुमच्या पारड्यात याच मार टाकून तुलेचे समतोलन करतात



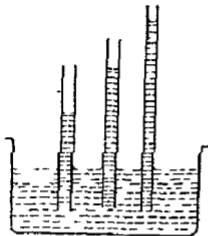
आ. ५-९ (अ)

∴ ति २ कस = पु भू

या ममीकरात २ हा गुणक घेण्याचे कारण तारेच्या दोन वडास नगलाच्या पातळ थराच्या दोन भुवन पृष्ठाचा स्पर्श झालेला असतो (आ ५-९ आ पाहा) वराल ममीकरात तारेच्या दोन वडाचो लांबो  $2 \times$  कस न घेता तारचा जो भाग तरलास स्पर्श करता त्या भागाची परिधि (perimeter) घेतल्यान, गणनात जास्त परिणुदता येते.

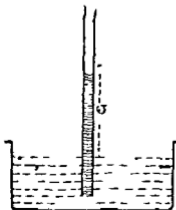


आ. ५-९ (आ)



आ ५-१०

(त्र ही वर्तुलाकार छिद्राची विज्ञा आहे) कैशाल नळीतील



आ ५-११

### कैशालत्व (Capillarity)

आकृति ५-१० मध्ये दाखविलेल्या क ह्या कैशाल काचनळीचे एक टोक पात्रातील तरलात बुडवून नळी उभी धरल्यास नळीत तरल शिरते, आणि नळीतील तरलाची पातळी पात्रातील तरलाच्या पातळीपेक्षा जास्त असते काचेचा आणि तरलाचा स्पर्श नळीच्या छिद्राच्या  $\theta \times$  प्या  $\times$  त्र या परिधीवर होतो

(त्र ही वर्तुलाकार छिद्राची विज्ञा आहे) कैशाल नळीतील तरलाचा पृष्ठभाग आकृति ५-११ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे न्युन्ग (concave) अमन्यास काच आणि तरल यांच्या मध्यस्थरूपवरील उदपोन्मुख अभिलागी (adhesive) बलान छ या तरलस्तम्भाचा भार टाळला जातो यावरून,

त्रि  $\times$  - प्या त्र = (प्या त्र<sup>२</sup> छ)

$\times$  घ  $\times$  मू

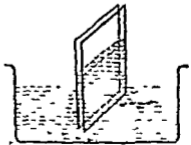


आ ५-१२

पारदाचा स्तम्भ बाहेरील दाबला जातो

वरील समीकारात घ ही तरलाची घनता आहे. पारदात सूक्ष्म छिद्राची नळी वर प्रमाणे धरल्यास नळीतील पारदाची पातळी पात्रातील पारदाच्या पातळीच्या खाली असते (आ ५-१२ पाहा). नळीतील पारदाचा पृष्ठभाग उदुन्न (convex) असल्याने काच आणि पारदा यांच्या मत्प्रसंगेवरील भ्रमि-लागी बल अधोलम्ब असते आणि ह्या अधोलम्ब बलाने नळीतील पारदाच्या पृष्ठभागापेक्षा खाली

वाचेच्या दोन अरुद पट्ट्याची टोके तरलात बुडवून पट्ट्या परस्पराजवळ उभ्या धरल्यास, त्यामधील भागातहि धावृति ५-१३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे तरल स्तम्भ उत्पन्न झालेला दिसेल ह्या घटनेचे स्पष्टीकरण तरलात वलाच्या साहाय्याने वर दर्शविल्याप्रमाणे करता येते टीप कागद, दिव्याची वात कपडा इत्यादि वस्तु तनूमय असतात आणि त्याच्या तनु-मधील भागात आकृति नग्या ५ - १३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे तरल पसरने प्रशा रीतीने



आ ५-१३



मूळम छिद्र मार्गातून तरल पसरण्याच्या प्रियेला 'केशालत्व' ही मजा आहे. सच्छिद्र भूमीत पाणी किंवा दुसरे तरल केशालत्वान वन्याच दरवर पसरते.

### आलमत्व (viscosity)

पाणी एका पात्रातून दुसऱ्या पात्रात लीसर आतना येणे पण मध, काकवी, ओदभिद् तेल (vegetable oils) इत्यादि तरल एका पात्रातून दुसऱ्या पात्रात ओतावयाम बगच वेळ लागतो यावरून पाणी हे गोघ प्रवाही अथवा 'चलिष्णु' (mobile) आणि मध, काकवी, तेल इत्यादि मधप्रवाही अथवा 'आलम' (viscous) आहेत, असे म्हणतात. चलिष्णु आणि आलम असा तरलात भेद का असावा हे पुढील विवेचनावरून लक्षात येईल.

पावसाळ्यात नदीला पूर आला असता प्रवाहाचा वेग बगच जास्त असतो आणि त्या प्रवाहात ठिकठिकाणी भोंब्यामारखी गति उत्पन्न झाल्या आपल्याला दिसते. पावसाळ्यात तर त्याच नदीचा मध प्रवाह पाहण्यास त्याच भावस्थामारखी गति वाटतेच दिसत नाही. या मध प्रवाहाचा अग्याम केल्याम असे दिसते की, नदीच्या काठागी पाण्याच्या प्रवाहाची गति फारच अल्प असते आणि जसजस पात्राच्या मध्याकडे जावे तसतसा प्रवाहाचा वेग वाढत जातो. असा प्रवाहात फुल, कागद या मारख्या पाण्यावर तरंगणाऱ्या वस्तू टाकल्याम, त्या इकडे निकडे न जाता प्रवाहाच्या दिशेनेच गतिमान होतात. मध प्रवाहाच्या या गतीला 'रेखाप्रवाह' (line flow) आणि मळबळ (भाबरे) निमाण झाल्या गतीला (turbulent flow) 'प्रशुब्ध प्रवाह' असा मजा आहेत. केशाल-नळीतून (capillary tube) बाह्याया तरल-प्रवाहाच्या परिच्छ अग्यामान, तरलाच्या बरोल दोन गतिमवधी रागी पटना



आ ५-१४

स्पष्ट झालेल्या आहेत तरल-प्रवाहाचा प्रवेग अल्प असल्यास नळाच्या भितीची मस्पर्शी असलेल्या तरलाची गति जवळ जवळ शून्य असते आणि नळीच्या भित्तोकडून जसजसे अक्षाकडे जावे तमतसा तरलाचा प्रवेग वाढत जातो आकृति ५-१४ पाहा क आणि ख येथील तरलाच्या प्रवेगापेक्षा ख आणि ख' येथील तरलाचा प्रवेग जास्त असून नळीच्या अक्षाजवळील भागातून वाहणाऱ्या तरलाचा वेग त्याहून जास्त असतो यावरून हे लक्षात येईल की, क आणि ख ह्या थराचे प्रवेग अनुक्रमे  $v_1$  आणि  $v_2$  असल्यास ख जवळील तरलाचा पातळ थर क जवळील थरावरून ( $v_2 - v_1$ ) या सापेक्ष प्रवेगाने घसरतो ग येथील प्रवेग  $v_2$  असल्यास, ग भागातील थर, ख जवळील पातळ थरावरून ( $v_2 - v_2$ ) या सापेक्ष प्रवेगाने घसरतो दोन मान्द्रतल एकमेकावर घसरत असल्यास त्यांच्या सापेक्ष गतीला विरोध करणार सधषबल असते अस आपण म्हणतो तसाच काहीना प्रकार ख जवळील थर क जवळील थरावरून घसरताना होत असावा तरलाच्या या दान थरामधील सापेक्ष गतीला विरोध करणाऱ्या बलास आंतरसधष बल ही सजा योग्य होईल तरलाने ह्या आंतरसधष बलाला भौतिकीत 'आलग-बल' (viscous force) म्हणण्याचा प्रघान आहे तरलाच आंतर-सधषबल जास्त असल्यास तरलाच्या काणत्याहि

दान घरातील सापेक्ष प्रवेग अल्प असतो, म्हणून  $g$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  येथील घराचे अनुक्रमे सापेक्ष प्रवेग  $(v_2 - v_1)$ ,  $(v_3 - v_1)$ ,  $(v_3 - 0)$  इत्यादि अल्प असनात म्हणून  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  इत्यादी प्रवेगहि अल्प असनात तरलाच्या निरनिराळ्या घराचा प्रवेगहि वरील प्रमाणे अल्प असल्याने नळीतून प्रति काष्ठिकेन प्रवाहाने बाहेर येणाऱ्या तरलाची परिमा अल्प असते ताप आणि निपीड समान असता प्रतिकाष्ठिकेन वेगाल नळीतून बाहेर येणाऱ्या पाणी, सुपब, मधुरी (glycerine) आणि मधु (honey) यांच्या परिमा मापन के-यास असे दिसते की, पाणी, सुपब इत्यादींची परिमा मधुरी आणि मधु यांच्या परिमेपेक्षा जास्त असते यावरून पाणी, सुपब इत्यादी तरलाचे आतंगत्व (आंतर-सघर्ष बल) मधुरी, मधु इत्यादि तरलापेक्षा बरेच अल्प असत तरलाचे आतंगत्व तांदूळघाताने न्यून होते यावरून तरलाच्या आंतर-सघर्ष बलासंबंधी का-याच उक्तीत पुढे आले-या अमन्या तरो त्यातून निश्चित असा सिद्धांत निघालेला नाही

खळबळाटाच्या गतिसंबंधीच्या संपीक्षात असे दिसून आले आहे की, कोण-याही तरलाच्या प्रवाहाचा वेग काही विशिष्ट मर्यादित पर्यंतच रेषामर्यादित असतो या मर्यादेनेचा प्रवाहाचा प्रवेग वाढल्यास त्या प्रवाहात खळबळाट उचलू होते अशा प्रवाहात तरलाचे व्यूहाणू एका दिशेनेच सरू शकतात न करता विभिन्न दिशेन स्थानान्तर करतात आणि पुन्हा पूर्वीच्या दिशेने गतिमान होतात या प्रवाहात तरलाचा एखादा व्यूहाणू पुढच्या क्षणां वन स्थानान्तर करील ह सांगणे अशक्य असते. प्रवाहात खळबळाट उचलू होण्याचा प्रवाहाचा वेग काही विशिष्ट मर्यादेनेचा जास्त असावा लागतो या प्रवेगास 'सीमा प्रवेग' (critical velocity) असे म्हणू या सीमा-प्रवेगाची अहा तरलाच्या गुणधर्मांवर अवलंबून आहे आतंगत्व जास्त असले-या तरलाचा सीमाप्रवेग जास्त असतो, आणि आतंगत्व अल्प

अनपान्या तरलाचा सीमाप्रवेग अल्प असतो. म्हणून अल्प आलगत्याच्या तरलाचा प्रवेग अल्प असला तरच या तरलाचा रेखा-प्रवाह शक्य असतो.

विक्षुब्ध प्रवाहांमध्ये प्रवेग जास्त असून प्रवेगाची अर्धा आल-गत्वावर फारशी अवलंबून नसते, म्हणूनच शिलारस (lava) मदप्रवाही असूनहि ज्वालामुखी-स्फोटाचे वेळी शिलारस लोट्या सारखा शीघ्रगतीने वाहतो.

### उपस्नेहन (lubrication)

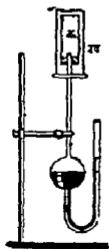
तेलासारख्या मदप्रवाही पदार्थाचा आजच्या यंत्रगुणात बराच उपयोग आहे. यंत्राचे एकमेकावर घसरणारे तल हे जितके गुळगुळीत तितके त्यात सघर्षबल अल्प असते या घसरणाऱ्या सान्द्र भागावर थोडे तेल टाकल्यास दोन सान्द्रतलांच्या मध्ये तेलाचा पातळ थर आल्याने सघर्षबल बरेच अल्प होते असा अनुभव आहे. दोन सान्द्र-तलांच्या मध्ये तेलाचा पातळ थर आल्याने सान्द्र तलांच्या सापेक्ष गतीने त्या तलावरील तरलाच्या पातळ थरातहि सापेक्ष गति उत्पन्न होते आणि सान्द्रतलावरील सघर्षबल नाहीसे होऊन यंत्राच्या भिन्न भिन्न भागांच्या सापेक्ष गतीला तेलाच्या आंतर-सघर्ष बलाचा अल्प विरोध होतो तेलातील हे आंतर-सघर्षबल सान्द्रतलावरील सघर्षबलाच्या मानाने अल्प असते

उपस्नेहनाच्या घटनेमध्ये घसरणाऱ्या अथवा भ्रमण करणाऱ्या यंत्राच्या भागाचा भार व त्याच्या सापेक्ष गतीची मात्रा यांचाहि विचार करावा लागतो बहुधा सघर्ष-बल न्यून करण्यास अल्प आलगत्याचे तेल वापरतात परंतु ह्या सामान्य निषेधास अत्राद आहेत यंत्राच्या सघर्षित भागाचा भार, ताप इत्यादी जास्त असल्यास जास्त आलगत्याचे तेल उपयोगात आणतात, कारण सान्द्राच्या सान्निध्याने तेलाचा ताप वाढून त्याचे आलगत्य पुरेसे न्यून होत

## प्रसृति (diffusion) आणि आसृति (osmosis)

एका उच्च रम्भाकार काच-पात्रात थोडे ताम्रशुल्बिय विलयन घेऊन तें पात्र मेजावर स्थिर ठवावे. काचेची नळी रम्भपात्राच्या कडेला स्पर्शवून तिचे मालखे टोक विलयनाच्या पातळीला स्पश करील अशा स्थितीत घरावे आणि नळीतून थोडे थोडे पाणी पात्रात टाकावे हे पाणी विलयनात न मिसळता, या पाण्याचा थर विलयनावर अलग राहतो हे रम्भपात्र काही दिवस स्थिर राहू दिल्यास, पाण्याच्या वरील थराने ताम्रशुल्बिय विलयनाचा निळपणा आडळतो. ताम्रशुल्बियाचे व्यूहाणु स्थानांतर करून विलयनावरील पाण्यात मिसळतात. पाण्यावर जर वरीलप्रमाणे सुषव (alcohol) टाकला तर काही वेळाने सुषव पाण्यात मिसळतो. यावरून, तरल आणि प्रविलीन (dissolved) झालेले सान्द्र याच्या व्यूहाणूना स्थानेतरणाची गति असते असे दिसते. तरलाच्या अशा रीतीने एकमेकात मिसळण्याच्या

घटनेला 'प्रसृति' अशी सजा आहे. ताप वर्धनाने आणि सक्द्रता (concentration) वाढविण्याने प्रसृति शीघ्रतेने होते. तरलापेक्षा वास्तु प्रसृतिद्वारा जास्त शीघ्रतेने एकमेकात मिसळतात. त्यातहि अल्प घनता असलेल्या वास्तुच्या व्यूहाणूची प्रसृति-क्षमता (diffusivity) बरीच जास्त असते.



आ. ५-१५

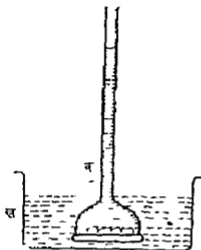
आसृति ५-१५ मध्ये क या मच्छिद्र पात्रात (porous vessel) वामु आहे. या पात्राला ग निपीडामानाचा एक वाडू जोडलेला आहे. व मोवती स हे उद्जन थरलेल काचपात्र उलट घरले आहे. उदयनाची घनता अल्प असल्यामुळे तो काचपात्रा

वाहेरील वायूत लवकर मिसळत नाही स्व पात्र थोडा वेळ स्थिर धरल्यास, क मधील वायूचे निपीड वाढले आहे असे निपीडामान दर्शविते यावरून क मधील वायू ज्या प्रमाणात प्रसृतीने बाहेर पडतो त्यापेक्षा जास्त प्रमाणात उद्‌जन प्रसृतीने क मध्ये शिरतो असे दिसते स्व काचपात्र वाढन घेऊनल्यास क मधील वातीचे निपीड न्यून होत आहे असे निपीडामानाने समजते या स्थितीत वाहेरील वायू क मध्ये ज्या प्रमाणात प्रसृतीने शिरतो, त्यापेक्षा जास्त प्रमाणात क मधील वायू आणि उदजन यांच्या मिश्रणातील उदजन बाहेर पडतो

फुफुसातील मकीर्ण केशाल नलिकातून वाहणाऱ्या रक्तातील प्रागारद्विजारेय (carbon dioxide) केशालनळ्याच्या पातळ आवरणानून प्रसृतीने बाहेर पडतो आणि श्वसनाने आत घेतलेल्या वायूतील जारक (oxygen) केशालनळ्यातील रक्तात प्रसृतीने मिसळतो अशा रीतीने रक्ताला जारकाचा पुरवठा होतो, आणि प्रागारद्विजारेयाचे प्रमाण वाढलेला वायू आपण उच्छ्वसाने बाहेर टाकतो यावरून प्रसृतीचे महत्त्व लक्षात येईल

बरोल घटनेत प्रागारिक (organic) पदार्थाच्या पातळ पडद्यातून जारक आणि प्रागारद्विजारेय याचे व्यूहाणु प्रसृत होऊ शकतात परंतु काही विशिष्ट द्रव्याचे व्यूहाणु अशा पडद्यातून प्रसृत हात नाहीत पातळ पडद्याच्या ह्या प्रवृत्त्य (selective) प्रसृति गुणधर्माचे आणखी एक उदाहरण खाली दिलेले आहे

क या शृंगाल निवापाचे रुद नाड अर्धातिवध्य कलेने (semi-permeable membrane) बंद केले आहे निवाप उलटा रहन निवापात नळीच्या तोंडातून घोडे सामरेचे विलयन टाकतात विलयनाची पातळी आणि स्व पात्रातील पाण्याची पातळी सारखी



आ ५-१६

व्युहाणु प्रसृत होत नाहीत काही द्रव्याचे व्युहाणु कलेनून जाऊ शकतात आणि दुसऱ्या काहीचे जाऊ शकत नाहीत. या प्रवृत्त्य प्रसृति गुणधर्माला 'आसति' (osmosis) अशी मज्ञा आहे. बरोल सपरीशेतील स्थिर उंची असलेल्या जलस्तम्भाच्या विरोधी निपीडाने विलयनात कलेनून पाणी येण्याचे घावत या जल-स्तम्भाच्या निपीडास विलयनाचे 'धाम्नि निपीड' (osmotic pressure) ही मज्ञा आहे.

वनस्पती आपल्या मुळाच्याद्वारे भूमीतील पोषक द्रव्ये आणि पाणी आसृतीने शोषतात. वियाणें शेतात पेरण्यापूर्वी त्या वियाणात जोडी ताम्रशुल्बियाची पूढ मिसळतात. हे वियाणें पेरल्यानंतर भूमीतील पाण्यात ताम्रशुल्बियाचे विलयन होते. बीजाकुराची हानि

राहील अशा वेताने निवाप थ मधील पाण्यात वृद्धिनान (आकृति ५-१६ पाहा). या स्थितीत बाहेरील पाणी निवापात शिरने आणि निवाप काही काळ स्थिर ठेवल्यास निवापातील पाण्याचा स्तम्भ विशिष्ट उंची इतका झाल्यानंतर निवापात पाणी येण्याचे बंद होणे नसापि ख पात्रातील पाण्यात माथेचा काहीहि अशा प्रसृत झालेला आढळत नाही. अर्घानि-वेध्य कलेनून पाण्याचे व्युहाणु प्रसृत होतात, परंतु साखरेचे

करणाच्या भूमीतील जिवाणूचा (fungi) ताम्रशुल्बियाच्या विपारी परिणामाने नाश होतो परंतु ताम्रशुल्बियाच्या विलयनातील केवळ पाणीच बियाण्याच्या वरील आवरणातून आसृतीने आत शिरून बी रुजण्याच्या क्रियेला आरंभ होतो, आणि बोजाकुरावर ताम्रशुल्बियाच्या व्यूहाणूचा विपारी परिणाम होत नाही

### प्रश्न

(१) प्रत्यास्थता मापाकाची परिभाषा द्या. वाईलच्या स प नियमाप्रमाणे परिमा-निपीड परिवर्तन होणाऱ्या व्रृत्तीच्या समताप प्रत्यास्थता मापाक सूत्राची व्युत्पत्ति द्या

(२) रेखीय प्रत्यास्थता मापाकाची परिभाषा देऊन हा मापाक सपरीक्षेने कसा निश्चित कराल याचे सविस्तर वर्णन करा

(३) हूकच्या प्रत्याबल-विकार नियमाचे प्रतिपादन करा

एका सपरीक्षेत २२ सहस्रघान्याचा भार १ सि मा व्यास आणि ५ मान लांबीच्या तारेच्या टोकास अडकविल्यास, तारेच्या लांबीत १४ सि मा इतकी वाढ होते मू ची अर्हा ९८०  $\frac{\text{शि मा.}}{\text{का}}$  असल्यास, तारेच्या द्रव्याचा रेखीय प्रत्यास्थता मापाक किती असावा ?



# उष्मा

प्रकरण ६

## तापमिति

एखादो वस्तु शीत आहे की उष्ण आहे याचे ज्ञान आपणामु  
सर्शोद्रियाच्याद्वारे मिळणाऱ्या मधेदनाने होत शीत वस्तु  
ऊन पाण्यात किंवा ज्योतीत ठेवल्यास ती उष्ण होते या घटनेचे  
स्पष्टीकरण असे देतात की, उष्ण वस्तूच्या स्पर्शाने अथवा सान्निध्याने  
उष्ण वस्तूतील काही उष्मा शीत वस्तूला मिळतो, म्हणून शीत  
वस्तूतील उष्मा वाढून ती उष्ण होत यावहून वस्तूची शीत अथवा  
उष्ण अवस्था ही तिच्यातील उष्मावर अवलंबून असते परंतु उष्मा  
ही कोणत्याही प्रकारची द्रव्यराशि नाही, कारण कोणतीही वस्तु  
तापविली असता तिच्या माराने अवर होत नाही मार हा द्रव्य  
राशेचा मूळ गुणधर्म आहे उष्मा हा द्रव्यराशि असतो तर  
तापविल्याने वस्तूचा मार वाढला असता तो तसा वाढत नाही  
याअर्थी उष्मा हा द्रव्यराशि प्रकार आहे असे म्हणता येत नाही  
उष्मा हे ऊर्जेचे एक स्वरूप आहे ह्यामदधी विशेष चर्चा चौदाव्या  
प्रकरणाने केली आहे

वस्तूतील उष्मा आणि तिची उष्ण अवस्था यांना परस्पर  
संबंध नोंद घ्यानात येण्यासाठी पात्रातील पाणी आणि त्याच्या  
मूकन पृष्ठाची पात्राच्या तळागामूनची उंची यांचा संबंध लक्षात घेऊ  
पात्राने अधिकारविक पाणी घालावे तसतशी त्याच्या मूकन पृष्ठाचा  
उंची वाढत जाते त्याचप्रमाणे एखाद्या वस्तूस जवळपास उष्मा टाका  
नसतशी तिची उष्णावस्था वाढत जात उच्च पातळीवरून पाणी  
नीच पातळीवर येते, त्याचप्रमाणे अधिक उष्णावस्थेत असणाऱ्या  
वस्तूमधील उष्मा कमी उष्णावस्थेत असणाऱ्या वस्तूला मिळता

जसे, (१) पाण्याचा पुत्र आणि (२) त्याच्या मुक्त पृष्ठाची पात्राच्या तळापासूनची उंची या दोन भिन्न राशींचे मापन आणि भिन्न एककानी करतो, तद्वतच (१) वस्तूतील उष्मा आणि (२) वस्तूची उष्णावस्था यांचे मापनहि भिन्न प्रकारे करावे लागते.

वस्तूची उष्णावस्था निश्चित सरपेने व्यस्त करण्याकरता कोणकोणते सधेत योजलेले आहेत हे आता पाहू वस्तूच्या उष्णावस्थेचा निर्देश करणाऱ्या सरपेस 'ताप' (temperature) आणि ही सध्या ज्या श्रेणीमधील आपने तिला 'तापश्रेणी' (scale of temperature) असा सजा आहेत स्पर्शद्रव्याच्याद्वारे आपणास जें ज्ञान मिळते, ते सापेक्ष असते उदाहरणार्थ क, ख ग या तीन भाड्यात अनुक्रमे वृद्धत, कोमट आणि गरम पाणी ठेवले क आणि ग भाड्यात एक एक हात बुडवून मग आपण दोन्ही हात मधल्या ख य हाड्यात बुडविल्यास, जो हात आपण पूर्वी वृद्धत भाड्यात बुडविला होता त्या हातास ख मधील कोमट पाणी गरम भासेल, जो हात पूर्वी आपण गरम पाण्यात बुडविला होता त्या हाताला ख मधील हेच पाणी जास्त उष्ण वाटेक म्हणून वस्तूच्या उष्णावस्थेचे यथायोग्य मापन करणें अमल्यास तें मापन इन्द्रिय संवेदना निरपेक्ष असणें आवश्यक असतें.

उष्णामुळे वस्तूच्या परिमैत वाढ होते या घटनेचा पुढील-प्रमाणें तापमापनासाठी उपयोग करतात तळाशी कन्दाकार असलेल्या एका लाज पोखळ नळीत पारद घेऊन, नळीचा कन्दा द्रवद् हिमात ठेवतात आणि नळीतील पारद ज्या उंचीवर जाईल तेंच क खूप करतात (आकृति ६-१ पाहा) नळी द्रवद् हिमातून बाहेर काढून फाही वेळाने पूर्वीप्रमाणेन तिचा कन्दा पुन्हा द्रवद् हिमात बुडविल्यास, नळीतील पारदाची उंची क खूपेवरच स्थिर होते त्याचप्रमाणे

या नळीचा वृन्द उकळत्या शुद्ध पाण्याच्या वाष्पात घट्ट, नळीतील पाण्याची उंची ज्या भागापर्यंत उठेल तेथे स ही दुमरी खुण करतान पारद भरलेला हा वृन्द एखाद्या वस्तूला स्पर्श करून ठेवला असताना, नळीतील पारदाची उंची क स्थानापर्यंत असल्यास, त्या वस्तूचा ताप द्रवद हिमाच्या तापाइतका आहे असे म्हणता येईल. हाच वृन्द दुमच्या एखाद्या वस्तूशी स्पर्शित असताना नळीतील पारदाची उंची ख या खुणेपर्यंत गेल्यास, या दुमच्या वस्तूचा ताप उकळत्या शुद्ध पाण्याच्या वाष्पाइतका आहे असे मानतात. द्रवद हिमाच्या तापापामून त्या प्रमाण निपीडावरील शुद्ध प्रवाणाच्या (water vapour) तापापर्यंत वृन्दातील पारदाचा ताप वाढल्यास, पारदाचे परिमावर्धन क आणि ख या दोन खुणांमधील नळीच्या धारिते इतके असते. द्रवद हिमाचा ताप आणि उकळत्या पाण्याच्या वाष्पाचा ताप या दोहोनील तापावराचे १०० समान तापापर्यंत भाग केले आहेत अशी कल्पना करू- आता, पारदाचे परिमावर्धन क आणि ख मधील

धारितेच्या  $\frac{1}{100}$  झाल्यास, पारदाचा ताप १

अशाने वाढला पाहिजे असा तापमानाचा संकेत आहे. दुमच्या शब्दात असे म्हणता येईल की, समान परिमा- परिवर्तनाचे समान तापपरिवर्तन माण्याचा प्रधान आहे. हा तापमापन जास्म परिवृद्ध हाण्याकरिता पुढीलप्रमाणे आ ६-१ पारद भरलेल्या तापमानाचा उपयाग करितात.



एका सकीर्ण एकरूप छिद्र असलेल्या नळीच्या एका टोका- उकळील भाग ज्योतीवर घट्ट, काच विनळ्यापूर्वी ती शुद्ध

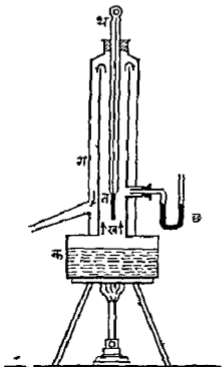


अवस्थेत असताना नळीची दोन्ही टोके विरुद्ध दिशानी ओढतात नळीचा ओढलेला हा अरुंद भाग ज्योतीवर घळून नळीचे तेशील छिद्र बंद करतात ह् बंद वेलेले नळीचे टोक ज्योतीवर घळून काव मृदु अवस्थेत आल्यावर नळीच्या दुसऱ्या टोकानून वायु फुकून नळीचे तप्त टोक कन्दाकार बनवितात या कन्दाचा तळ फोडून नळीच्या या टोकाला निवापाचा आकार आणतात. आतापर्यंत उघडें असलेले नळीचे टोक ज्योतीवर घळून बंद करतात आणि निवापातून वायु फुकून नळीच्या दुसऱ्या टोकाला योग्य परिमेच्या कन्दाचा आकार देतात (आकृति ६-२ पाहा). त्वक्षेत (cork) किंवा पात्राच्या अन्य झावणात तापमान वसविणें सोयीचे व्हावे म्हणून तापमानाचा कन्द सामान्यत रम्भापार असतो नळीच्या निवापात थोडा पारद घालून तिचे दुसरे टोक लहान ज्योतीवर तापविल्यास कन्दातील वायुचे विस्तरण हाऊन, तो पारदातून वुडवुड्याच्या रूपात बाहेर पडतो कन्द थड झाल्यावर त्यातील वायुचे निपोड बाहेरील वायु-मण्डलीय निपोडापेक्षा थोडे अल्प झाल्याने, निवापातील पारद नळीच्या छिद्रातून खाली कन्दात उतरतो अशा रीतीने कन्द आळीपाळीने तापवून आणि थड करून, कन्दान आणि नळीत निवापापर्यंत पारद पूर्ण भरतात यानंतर या तापमानाचा ज्या उच्च तापापर्यंत उपयोग करावयाचा अमतो, त्या तापापर्यंत कन्दातील पारद

आ. ६-२

तापवून त्या अवस्थेत निवापाजवळील नळीचा भाग ज्योतीवर घळून बंद करतात तापमानाच्या नळीत पारद भरण्यासमून हा तिचे वरचे टोक थड करण्याच्या नियेपर्यंत तापमान अनेक वेळा

वन्याच उच्च तापापर्यंत तापविणें अवश्य असते यानंतरच्या काळान तापमान कोष्ठतापापर्यंत थंड झाले तरी वाचेचे सकोचन तन्काळ होत नाही. थंड झालेल्या वाचेचे दीर्घ काळानंतर सकोचन पूर्ण होते; म्हणून वरचे टोक बंद केल्यानंतर ह्या तापमानाच्या स्थिर-बिन्दूचे (fixed points) निश्चयन चाही महिन्याच्या काळावधोन्तर करतात तापमानाच्या विवेचनांत स्थिर ताप या अर्थी स्थिर-बिन्दू असा शब्दप्रयोग वापरण्याचा प्रघात आहे.



आ ६-३

उच्च स्थिर बिन्दूचे (upper fixed point) निश्चयन करण्याकरता आकृति ६-३ मध्य दाखविलेले साधन उपयोगान आणतात क या तापमानाच्या पात्रातील उकळणाऱ्या पाण्याचे वाष्प ख या पोक्ळ रम्भानून बाणाने दर्शविलेल्या मार्गाने जाऊन ग या बाहेरील रम्भात पसरून त्यामुळे ख रम्भाचा ताप प्रवाण्याच्या तापासमान होतो आकृति ६-३ मध्ये दर्शविल्या प्रमाणे पारदर्शक रम्भाचा वरचा

भाग थ त्वक्षेवर जेमतेम दिसेल अशा रीतीने त तापमानाचा कन्द साधित्रातील प्रवाण्यात ठेवतात. नळीतील पारदस्तम्भ ज्या भागापर्यंत पोहचतो तेथे खूण वरून ठेवतात पाण्यात सान्द्राचे विलयन झाल्यास अथवा इतर दुसरो कोणतीहि असुद्धि असल्यास, उकळत्या पाण्याचा ताप (बुब्बलक = boiling point) हा त्या पाण्यातील विलायक (solute) अथवा इतर असुद्धि (impurity) यावर अवलंबून असतो. म्हणून तापमानाच्या उच्च स्थिर बिन्दूचे निश्चयन करतांना, तापमानाचा कन्द उकळत्या पाण्यात न ठेवता तो प्रवाण्यात राहिल अगो काळजी घेतान साधित्रातील प्रवाण्याचे निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइतके आहे अथवा नाही हे छ या वाष्पमानाने (manometer) समजते तापमानाच्या नळीवर खूण करण्यापूर्वी वापीडमानाने वायुमण्डलीय निपीडाचे वाचन घेऊन या निपीडावरील प्रवाण्याच्या तापाचे गणन योग्य मूत्राने करतात आणि या गणन केलेल्या तापाच्या अहेंचे अकन उच्च ताप दर्शविणाऱ्या स्थेवर करतात

यानंतर, तापमानाचा नीच स्थिर बिन्दु (lower fixed point) निश्चित करण्यासाठी पारदस्तम्भाचा पृष्ठ हिम घडावर जेमतेम दिसेल अशा स्थितीत तापमान एका मोठ्या निवापातील शुद्ध द्रवद् हिमात ठेवतात पारदस्तम्भाचा पृष्ठ स्थिर चाल्यावर या पृष्ठाशी तापमानाच्या नळीवर दुमरी खूण करतान वितळणाऱ्या हिमाचा ताप हा तापमानाचा नीच स्थिर-बिन्दु मानण्याचा प्रघात आहे

### तापश्रेणी (scale of temperature)

उच्च आणि नीच स्थिर-बिन्दूमधील तापाच्या अंतरालाला (interval) 'मूळ अंतराल' (fundamental interval) ही

सजा आहे शक्ति श्रेणीत (centigrade scale) द्रवद्विमाचा ताप (हिमद्रावाचा)  $0^{\circ}$  आहे असे मानतात तसेच प्रमाण निपीड (standard pressure) असताना उबळणाऱ्या शुद्ध पाण्याचा बुब्बुदाक  $100^{\circ}$  स. ने दर्शवितात म्हणजे शक्ति श्रेणीत मूळ अंतरालाचे  $100^{\circ}$  स अशात विभाजन केलेले असते नीच आणि उच्च स्थिर बिन्दु यांच्या मर्यादापलीकडे वरील तापश्रेणी योग्य रीतीने वाढवून,  $0^{\circ}$  स खाली नमच  $100^{\circ}$  स पर्यंत जाऊन जमलेल्या तापाचे तापमानावर अंकन करता येते.

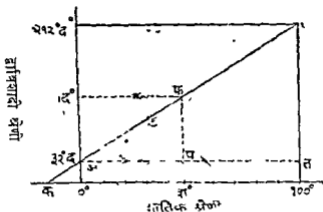
### श्रेणी रूपान्तर (conversion of scales)

द्वित्रिशादि श्रेणीत (Fahrenheit scale) हिमद्रावाचा ताप  $32^{\circ}$  असून शुद्ध पाण्याचा बुब्बुदाचा  $212^{\circ}$  वर असतो या श्रेणीत मूळ अंतरालाचे  $180^{\circ}$  अशात समान विभाजन केलेले असते. मूळ अंतरालात द्वित्रिशादि श्रेणीचे  $(212^{\circ} - 32^{\circ}) = 180^{\circ}$  आणि शक्ति श्रेणीचे  $(100^{\circ} - 0^{\circ}) = 100^{\circ}$  असल्याने,

$$\text{शक्ति श्रेणीवरील } 1^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{100^{\circ}} \text{ अथवा } (1.8^{\circ}) \text{ द्वित्रिशादि श्रेणीवरील अशा}$$

एखाद्या वस्तूचे शक्ति श्रेणीवरील तापवाचन  $32^{\circ}$  असून द्वित्रिशादि श्रेणीतील त्या वस्तूचे तापवाचन  $2^{\circ}$  असल्यास  $32^{\circ}$  आणि  $2^{\circ}$  या तापवाचनाचा संबंध पुढीलप्रमाणे असता

शक्ति श्रेणीतील  $32^{\circ} =$  द्वित्रिशादि श्रेणीतील  $(\frac{5}{9} 32)^{\circ}$   
 द्वित्रिशादि श्रेणीतील नीच स्थिर बिन्दूचे अंकन  $32^{\circ}$  असल्याने,  
 वस्तूचा ताप शक्ति श्रेणीत  $32^{\circ}$  असल्यास या तापाचे द्वित्रिशादि श्रेणीतील तापवाचन,  $(32 + \frac{5}{9} 32)^{\circ}$  इतकें असते



आ. ६-४

$$\therefore d^\circ = 32^\circ + \frac{1}{4} s^\circ$$

$$\therefore d^\circ - 32^\circ = \frac{1}{4} s^\circ = \frac{100^\circ}{400} s^\circ; \therefore \frac{s^\circ}{400} = \frac{(d - 32)^\circ}{100}$$

घ° आणि द° यांच्या संख्या घन, अथवा कृण असल्या तरी खरील सूत्र उपयोगी पडते. या सूत्राची व्युत्पत्ति बिन्दुरेख-रीतीनेहि करता येते आकृति ६-४ मध्ये शक्तिश्रेणी आणि द्वित्रिंशत् श्रेणी यांचा संबंध कस या रेषेने दाखविला आहे

दोन्ही श्रेणीनील नीच आणि उच्च स्थिर बिन्दु अनुक्रमेण अ आणि ख आहेत  $\Delta$  अफ आणि  $\Delta$  अतख हे समकोन असल्याने,

$$\frac{\text{अत}}{\text{तख}} = \frac{\text{अप}}{\text{पफ}}$$



$$\therefore \frac{100^\circ}{212^\circ - 32^\circ} = \frac{5^\circ}{d^\circ - 32^\circ}$$

$$\therefore \frac{5^\circ}{100^\circ} = \frac{(d - 32)^\circ}{180^\circ} \quad \dots (स ६-१)$$

वस्तूचा वास्तविक ताप (true temperature) आणि तापमानाने त्या वस्तूचा मापलेला ताप यात अल्प भेद समवतों तापाच्या या अल्पानंतराचा 'तापमानाचा विभ्रम' ही सजा आहे.

तापमानाच्या विभ्रमाची कारणे पुढीलप्रमाणे आहेत.

(१) शून्य विभ्रम (zero error) — तापमानाच्या स्थिर-विन्दु निश्चयनात प्रथम उच्च आणि नंतर लगच नीच स्थिर विन्दूचे निश्चयन करतात. यानंतरच्या दीर्घकालावधीत, तापमानाचा उच्च तार मापण्याकरता उपयोग केलेला नसल्यास, या कालावधीत तापमानाचे काच हळूहळू सकोचित होते. यामुळे तापमानाच्या कन्दाच्या परिमित थोडे सकोचन होणे अर्थातच द्रवद् हिमात तापमान ठेवल्यास कन्दाच्या या सकोचित धारितेन पहिल्याइतका पारद मापणू शकत नाही आणि हा न मापणूलेला पारद, कन्दाच्या वरच्या भागातील स्तम्भात गिरतो म्हणून द्रवद् हिमात तापमानाचे वाचन  $0^\circ$  स न राहता  $n^\circ$  स. च्या थोडे वर असते या विभ्रमाला 'दीर्घकालीन शून्य विभ्रम (secular rise of zero)' असे म्हणतात.

तापमानाचा उपयोग करण्यापूर्वी थोडेच दिवस अगोदर तापमान उच्च तार मापण्यासाठी उपयोगात आणल्यास, त्याच्या कन्दाची वाढलेली धारिता थराच कालपर्यंत पूर्वस्थितीवर येत नाही.

हा वन्द द्रवद् हिमात् ठेवल्यावर कन्दाची धारिता पूर्ण सकोचित न झाल्याने स्तम्भातील थोडा जास्त पारद कन्दात मामावला जातो, म्हणून तापमानाचे ह्या वेळेला घेतलेले वाचन  $0^{\circ}$  श. पेक्षा थोडे न्यून होते. या विभ्रमाला अल्पकालीन 'शून्य विभ्रम' (temporary fall of zero) असे म्हणतात. वर सांगितलेले शून्य विभ्रम अल्प असतात; तथापि सशोधनातील तापमानात परिशुद्धता आवश्यक असल्याने, या विभ्रमाचा तापवाचनावर होणारा परिणाम उक्षात घ्यावा लागतो.

## (२) विगोपित पारदस्तम्भ विभ्रम (exposed stem correction)

शून्य विभ्रम—कोणत्याहि वस्तूचा अथवा साधित्राचा ताप मापताना, तापमानाचा स्तम्भ आणि स्वन्द यातील पारदाचेर ताप एकरूप असणे अवश्य असते. कित्येक वेळा पारदस्तम्भाचा सर्व भाग साधित्रात ठेवणे शक्य होत नाही. या विगोपित भागाचा भोवतालच्या वायुमण्डलाशी सवध झाल्याने या भागाचा ताप साधित्रातील तापापेक्षा थोडा न्यून होतो. यामुळे तापमानाचे या विगोपित स्थितीतील तापवाचन वास्तविक तापापेक्षा थोडे अल्प असत. या विभ्रमाला 'विगोपित पारदस्तम्भ विभ्रम' ही सजा आहे. या विभ्रमाच्या शोधनाकरता उपयोगान येणाऱ्या सूत्राची चर्चा प्रकरण ८ मध्ये केलेली आहे.

## तापमानांतील विभ्रमांचे द्राधन

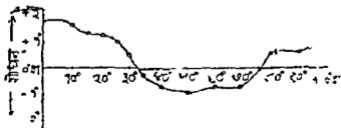
(corrections for errors of thermometers)

तापमानाच्या वाचनद्वारे छिद्र एकरूप नसल्यास, स्थिर बिन्दूचे तापवाचन परिशुद्ध असूनहि स्थिर बिन्दूच्या वाचनाध्यतिरिक्त इतर तापवाचनान विभ्रम उत्पन्न होतो. स्थिर बिन्दू ठरविण्यात काही

विभ्रम असल्यास, तसेच केशालनलिकेचे छिद्र एवढ्या नसल्यास तरल तापमानाने विभ्रम सन्नवतात. या विभ्रमाचे शोधन पुढील प्रमाणे करणे सोयीचे असते. तरल तापमान आणि प्रमाण तापमान ही दोन्ही एका योग्य तापनात (hot bath) ठेवतात. त्या तापनाचा ताप हलके हलके वाढवून तरल तापमानाचे घेतलेले वाचन, त्याच सर्णी घेतलेले प्रमाण तापमानाचे सवादी (corresponding) वाचन आणि त्या दोहोंतील भेद खालील प्रमाणे मारणीत लिहितात.

१	२	३
प्रमाण-तापमानाचे वाचन	परीक्ष्य तापमानाचे वाचन	शोधन (१-२)

सारणीतील तिमच्या स्तम्भातील शोधन आणि दुसऱ्या स्तम्भातील सवादी वाचन याचा आकृति ६-५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे शोधन-विन्दुरेख वाढनात. शोधन विन्दुरेखेवरून असे दिसून येईल की, परीक्ष्यतापमानाचे वाचन  $40^{\circ}$  म. कमताना वाचनातील शोधन



आ ६-५

-०.१° श. आहे, म्हणून परिशुद्ध तापवाचन ४४.९° श. आहे. यावरून परिशुद्ध तापमानात शोधन विन्दुरेखेचा उपयोग कसा करतात हे लक्षात येईल.

### विशेष प्रकारची तापमाने

#### सुपव तापमान (alcohol thermometer)

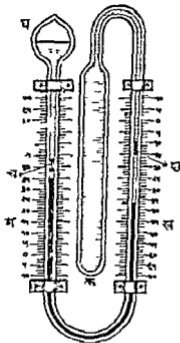
पारदाचे सान्द्रीमवन - ३९° श. तापावर होते, यामुळे -३५° श. पेक्षा न्यून असलेल्या तापवाचनाकरता सुपव (alcohol) तापमानाचा उपयोग करतात. सुपव तापमान - ११०° श. पर्यंत उपयोगात आणता येते. पारदाचा बुद्बुदाक ३५७° श. असल्याने साधारणतः ३००° श. पेक्षा जास्त ताप मापण्यास, साधे पारदतापमान उपयोगात आणणे इष्ट नाही तथापि पारदतापमानात उच्च निपीडावर भूयाति भरून ४००° श. तापापर्यंत तापमापन करता येते



#### ऋग्णतापमान

#### (clinical thermometer)

ऋग्णतापमान द्वात्रिंशद्विंशते श्रेणीचे असून, त्याचे अवन ९०° द. ते ११०° द पर्यंत असते. या तापमानाचा कन्द आणि स्तम्भ यामध्ये सज्जित मोड असते (आकृति ६-६ पाहा) आजारी मनुष्याच्या शरीराशी तापमान स्पर्शित असताना कन्दातील पारद तापवेदनाने प्रसरण पावतो आणि तो या सज्जित मोडीतून स्तम्भान शिरतो हे तापमान शरीरापासून दूर नेल्यास, तापमानाचा ताव घटून, कन्दातील पारदाचे सक्तीकरण होणे.



आ ६-७ (अ)

तापाने आणि रात्रीच्या १२ तासातील अल्पिष्ठ तापाचे वाचन घेणे आवश्यक असतं आकृति ६-७ अ मध्ये सामान्यरकारचे भूमिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान दर्शविले आहे ह्या तापमानात मृगवाच्या (alcohol) परिमा-परिवर्तनाने ताप मापन करमाणे क हा लावट कन्द सुपवाने पूर्ण भरल्या असतो उर्ध्वबाहूच्या दुसऱ्या टोकाला असणाऱ्या घ या कन्दात सुपव आणि सुपवाचे वाष्प असत उर्ध्वबाहूच्या खालच्या भागात

आ ६-७ (आ) शरद अमती क कन्दाच्या भोंवनाऱ्याच्या वायूचा ताप

परतु मांडीच्या पलीकडील स्तम्भाच्या भागातील पारद मसोवित होतांना, मांडीतून वाली न घसरता तेष्वेच स्थिर राहते, यामुळे आजारी मनुष्याच्या शरीराचे तापवाचन, तापमान शरीरापासून दूर वेग्यावरति अचल राहते. म्हणून ह तापवाचन वेव्हाहि मायीन घेना येन

भूमिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान (maximum and minimum thermometer)

घनवातिकीय (meteorological) परिस्थितीचे पूर्ण ज्ञान हाण्याकरना दिवसाच्या १२ तासातील सावलीतील भूमिष्ठ

'वायल्यास, सुपवाची परिमा वाढून म्ह मुजेनील पारद खाली जातो आणि ग भुजेनील पारद वर सरकताना तो च या स्कन्द (SPRING) लावलेल्या देननेला (index) वर दबलतो (जा ६-७ आ पाहा) नळीतील पारद खाली येतो तेव्हा च आणि छ ह्या देशना त्यांना लावलेल्या स्कन्दाच्या माहाय्याने नळीत स्थिर राहू शकतात.

क चा ताप न्यून होत असताना त्यानील सुपवाची परिमा सकींचित होणे आणि म्ह मधील सुपवाचा पृष्ठ क कडे सरकतो या पृष्ठाशी सलग्न असलेला ख मधील पारद पृष्ठ वर सरकतो आणि त्याबरोबर छ ही लोखंडी देशनाहि वर सरकते. या स्थितीत ग नळीमधील च देशना स्थिर असते. त्यामुळे वाचन घेण्याच्या पर्वकाळातील वायुमण्डलाचा भूधिष्ठ ताप च या देशनेने वाचता येतो तसेच छ या देशनेने वायुमण्डलाचा अल्पिष्ठ ताप समजतो हे लक्षात घेईल ही वाचने घेतल्यावर लोहचुंबकाच्या क्रियेने च आणि छ या लोखंडी देशनाचे स्थानान्तर करून, त्यांना पारदपृष्ठाशी संपर्कित आणताना

ताप परिवर्तनामुळे वस्तूच्या इतर गुणधर्मांहि परिवर्तन होते उदाहरणार्थ वार्ताचे परिमापरिवर्तन, निपीडपरिवर्तन अथवा विद्युत्वाहकाचे (electrical conductor) रोधपरिवर्तन (change in resistance) इ-यादि

बरील परिवर्तने नियमित असल्याने त्याच्या मापनाने निर-निराळ्या तापक्षेत्रातील (range) तापाच गणन करता येते

विशेष उच्चताप तमच नांभताप-मापनाम वातीच्या प्रसरणाचा प्रथवा निपीड परिवर्तनाचा उपयोग करणारी तापमाने वापरण्याचा प्रघात आहे कारण वातीच्या तरलनाचा ताप ०°श च्या बराच नीच असतो तमच वातीच्या परिमचे अथवा निपीडाचे ताप-

वर्धनाने हीणारं वर्धन, त्याच स्थितीतील तरताच्या परिमावर्धनापेक्षा बरेच जास्त अमन्याने वातितापमान प्रेंच हूप असते. त्याचप्रमाणे वातिविस्तरणहि जास्त नियमित अगल्याने (प्रकरण ९ वे पाहा) वातितापमानाच्या वाचनान जास्त परिशुद्धता येते यामुळे वाति-तापमानास प्रमाण तापमान (standard thermometer) मानण्याचा प्रघान आहे

### रोधतापमान (resistance thermometer)

महातु आदि धातूच्या विद्युत् वाहकाचा ताप वाडल्यास या वाहकाच्या विद्युत् रोधाच्या अर्हेत नियमित परिवर्तन होते. अशा राध-परिवर्तनाच्या माहाय्याने मूडम आणि परिशुद्ध ताप मापन करणे शक्य होते. अशा रोधतापमानाने—२००° स पासून ६००° स. तापापर्यंत तापमापन करतां येते.

### तापमियुन (thermo-couple)

या तापमानाच्या प्रकारात दान निरनिराळ्या धातूच्या संधीचा (junction) ताप न्यूनाधिक झान्याम, या धातूच्या परिधीन (circuit) विद्युत्वाह (electric current) उत्पन्न होतो विद्युत्वाहाच मापन केल्याने तापमापन करणे शक्य होत उच्च आणि नीच ताप मापन करण्याकरता तापमियुनाचा उपयोग करतात.

भट्टी (furnace), विद्युच्चाप (electric-arc), सूर्ये, तारे इत्यादींच्या तापाचे गणन त्याच्यापासून विकिरण (radiated) झालेल्या उष्मीजेच्या (heat energy) मापनाने करतात अशा प्रकारच्या तापमानास 'अग्निमान' (pyrometer) ही मना आहे

← वरील तापमानाचे जास्त विवेचन पुढील प्रकरणात योग्य स्यळी केलेले आहे अन्वेषणाच्या (research) अनेक शोधात आणि औद्योगिक व्यवसायात परिस्थिति आणि तापक्षेत्र (range of temperature) इत्यादि विचारान घळून विशिष्ट तापमानाचा उपयोग करतात

काही वस्तूंचे भिन्न अवस्थातील ताप स्थूलमानान खाली दिले आहेत

सूर्य आणि तारे यांचा आंतरिक ताप ...	१०,०००,०००° स
सूर्याच्या वायुमण्डलीय बाह्य पृष्ठाचा ताप .	... ६०००° स
प्रागार चापाचा (carbon arc) ताप ...	.. ४०००° स
सूवर्णाचा द्रावान	.. १०६३° स
गंधकाचा बुदबुदाक	... ४४५° स
पाण्याचा बुदबुदाक	.. १००° स
द्रवद् हिमाचा ताप (हिमद्रावाक)	०° स
जारवाच्या तरलाचा बुदबुदाक	-१८३° स
यानाति तरलाचा बुदबुदाक	... -२६०° स

### प्रश्न

(१) तापमानाच्या स्थिर बिन्दूंचे निश्चयन करताना कोणत्या गोष्टीची विशेष काळजी घ्यावी लागते ?

प्रथम कोणत्या स्थिर बिन्दूंचे निश्चयन केले जात त सधारण सांगा

(२) पारद तापमानात कोणते विभ्रम उद्भवतात आणि त्याच शोधन कम करतात ?



(३) समष्टिद्र नदी असलेल्या तापमानाचे द्वंद्व हिमातील वाचन  $15^{\circ}$  आहे आणि शृंगू निपीडावरील उकळत्या पाण्याच्या गाण्यातील ह्या तापमानाचे वाचन  $240^{\circ}$  आहे. या तापमानाची दुसरी दोन वाचने अनुक्रमे  $90^{\circ}$  आणि  $94^{\circ}$  असल्यास ह्या वाचनाचे गतिक श्रेणीवरील सवादी वाचनान गणन करा [ ह्या तापमानाचा मूळ अंतराल  $(240^{\circ} - 15^{\circ}) = 225^{\circ}$  ]

(४) (अ) अशीतिक श्रेणीवर नीच स्थिरबिन्दु आणि उच्च स्थिरबिन्दु या दोहोची वाचने अनुक्रमे  $0^{\circ}$  आणि  $100^{\circ}$  भागावर जमतात. एका वस्तूचा अशीतिक श्रेणीवरील (Reaumur scale) ताप आणि गतिक श्रेणीवरील ताप या दोहोका मध्य दर्शविणारे मूल ज्युत्पादित करा

(आ) खालील तापाच अशीतिक श्रेणीवरील तापात रूपान्तर करा - (१)  $-40^{\circ}$  स., (२)  $32^{\circ}$  स., (३)  $16^{\circ}$  द., (४)  $202^{\circ}$  द.

## अनुरेख विस्तरण

**सा**मान्यतः वस्तूचा ताप वाढविल्यास त्या वस्तूची परिमाहि वाढते (तापमिती प्रकरण ६ पाहा). सान्द्र वस्तूचा आकार निश्चित असल्यामुळे तापवर्धनाने सान्द्राच्या परिमित परिवर्तन होताना वस्तूची लांबी, रूंदी आणि उंची यांच्यानहि परिवर्तन होते. सान्द्र वस्तूच्या एका दिशेतील आयामाच्या (लांबीच्या) विस्ताराचे मापन करणे शक्य असते. प्रवाही (तरल आणि वाति) वस्तूचा आकार निश्चित नसल्यामुळे, तापवर्धनाने होणाऱ्या त्याच्या परिमा-विस्ताराचेच मापन करता येते तापवर्धनाने होणाऱ्या आयाम-विस्ताराचा अभ्यास पुढीलप्रमाणे करतात.

(१) एका विशिष्ट द्रव्याच्या, (उदाहरणार्थ—लोखंड, पिनळ, तांबे) सळईचा ताप  $0^{\circ}$  सा पासून वाढवून तिच्या लांबीचा होणारा विस्तार योग्य रीतीने मापल्यास असे दिसून येते की, सळईचा ताप ज्या प्रमाणात वाढवावा त्याच प्रमाणात तिच्या लांबीचे विस्तरण होते

विस्तरणाचा हा सवध पुढीलप्रमाणे दर्शवितात.

विस्तरण  $\propto 0^{\circ}$  सा पासून मापलेले तापवर्धन

(२) त्याचप्रमाणे एकाच द्रव्याच्या दो आण दो लांबी असलेल्या दोन सळयाचा ताप  $0^{\circ}$  सा पासून सान्द्राच वाढविला असता त्या सळयाचे त्यामुळे होणारे विस्तरण अनुक्रमे २ आणि ३ ने दर्शविल्यास

$$\frac{दा}{दा'} = \frac{द}{द'} ; \therefore \frac{द}{दा} = \frac{द'}{दा'}$$

म्हणजे समताप परिवर्तनाने होणारे विस्तरण हे  $0^{\circ}$  श. तापावरील मूळ लांबीशी अनुपाती असते. याचून तापवर्धनाने होणारे आयाम-वर्धन, मूळ लांबी आणि  $0^{\circ}$  श. पासून मापलेले तापवर्धन, या तीन राशींचा परस्पर संबंध पुढील म्त्राने दर्शविता येतो.

विस्तरण  $\propto$  (तापवर्धन)  $\times$  ( $0^{\circ}$  श. तापावरील मूळ लांबी)

$\therefore$  विस्तरण =  $\alpha \times$  (तापवर्धन)  $\times$  ( $0^{\circ}$  श. तापावरील मूळ लांबी)

किंवा,  $\alpha = \frac{\text{विस्तरण}}{\text{मूळ लांबी} \times \text{तापवर्धन}} \dots \dots \dots$  (स. ७-१)

वरील समीकारांत  $\alpha$  हा स्थिरांक आहे.

सळईची  $0^{\circ}$  श. वरील मूळ लांबी  $दा_0$  असून  $t^{\circ}$  श. तापावर तिची लांबी  $दा$  असल्यास,

$$\text{विस्तरण} = \alpha \times दा_0 \times (t - 0)$$

$$\text{परंतु, विस्तरण} = (दा - दा_0)$$

$$\text{म्हणून, } (दा - दा_0) = \alpha \times दा_0 \times t$$

$$\text{अथवा } \alpha = \frac{(दा - दा_0)}{दा_0 \times t} \dots \dots \dots$$
 (स. ७-२)

$$\text{वरील मधोकार } \alpha = \frac{(दा - दा_0)}{(t)} \times \frac{1}{दा_0} \text{ असा लिहीता येईल.}$$

(दा-दा०) ही राशी  $0^{\circ}$  श. तापावरील दा. या लांबीचे त  
 $1^{\circ}$  श. तापवर्धनाने होणारे विस्तरण होय. यावरून, अ या स्थिराकाची पुढील प्रमाणे व्याख्या करता येईल. वस्तूचा ताप  $1^{\circ}$  ने वाढल्यास, वस्तूच्या  $0^{\circ}$  तापावरील एकक आयामाच्या विस्ताराला, त्या वस्तूच्या 'अनुरेखीय विस्तार गुणक' (coefficient of linear expansion) असे म्हणतात. हा अनुरेख विस्तार गुणक अ मे दर्शविण्याचा प्रघात आहे.

समीकार ७-२ च्यातील प्रमाणे लिहिता येतो.

$$दा = दा० (१ + अ. त) \dots \dots \dots (स. ७-३)$$

तापवर्धनाने होणाऱ्या लांबीचे गणन करण्यास वरील सूत्र सोपीचे आहे. दा, दा० आणि त यांच्या अर्हा योग्य सपरीक्षणाने मापल्यास अ चे गणन करता येते.

सांद्र वस्तूचा ताप  $0^{\circ}$  श पेक्षा न्यून झाल्यास वस्तूची लांबी दा पेक्षा न्यून होते. वस्तूच्या या आयाम-संकोचनावरून अ चे गणन करावयाचे असल्यास समीकार ७-३ चा उपयोग करता येतो. मात्र त ची अर्हा यावेळी ऋण द्यावी लागते

पुढील सारणीत बांदी द्रव्याचे अनुरेख विस्तार गुणक दिले आहेत.

द्रव्य	अनुरेख विस्तार गुणक.
स्फटधानु (Al)	० ००००२३८
ताम्र (Cu)	० ००००१६
महानु (Pt)	० ००००८८६
रजत (चाँदी) (Ag)	० ००००१९७
पित्तल (Brass)	० ००००१८९
अचलानु (Invar)	० ००००००९
अनल काच (Jena glass)	० ००००७८
सैंकठा (Silica)	० ००००००५९
बज्रायम् (पोलाद) (Steel)	० ००००११६
अयस् (लोखंड) (Fe)	० ००००१०२

सामान्यतः सज्जिची ० ग. करील लावी भासन करणें सौपीचें नमन त, आणि त, या दाने भिन्न तापावर सज्जिची लावी अनुक्रमे द, आणि द, असल्यास, स ७-३ वरून,

$$d_1 = d (1 + \alpha t_1)$$

आणि

$$d_2 = d (1 + \alpha t_2)$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1}$$

परन्तु,

$$(1 + \alpha t_1)^{-1} = (1 + \alpha t_1)^{-1}$$

द्विपद प्रमेयाप्रमाणे (binomial theorem)

$(1 + अ. त_1)^{-१} = १ - अ. त_1 + अ^२. त_१^२ - अ^३. त_१^३ ...$  इत्यादि  
 अ ची अर्ही अल्प असल्यामुळे, (वरील सारणी पाहा) अ. त<sub>१</sub>  
 यांपेक्षा  $(अ^२. त_१^२)$ ,  $(अ^३. त_१^३)$  इत्यादि अर्ही अल्पतर असतात.  
 या अर्ही उपेक्ष्य समजून,

$$\frac{१}{१ + अ. त_१} = १ - अ. त_१ + ... ..$$

$$\therefore दा_२ = दा_१ [ (१ + अ. त_२) (१ - अ. त_१ + ...) ]$$

$$= दा_१ [ (१ + अ. त_२ - अ. त_१ - अ^२. त_१. त_२ +) ]$$

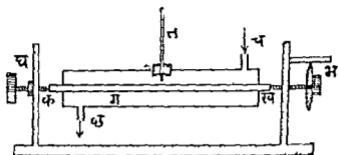
$(अ^२. त_१. त_२)$  या राशीची अर्ही वर दर्शविल्याप्रमाणे  
 अल्पतर असल्याने ती उपेक्ष्य समजून,

$$दा_२ = दा_१ [ १ + अ (त_२ - त_१) ] \quad \dots (स. ७-४)$$

किंवा  $अ = \frac{दा_२ - दा_१}{दा_१ (त_२ - त_१)} \quad \dots \dots \dots (स. ७-५)$

वरील सूत्राच्या उपयोगाने अ' चे गणन करता येत.  
 प्रयोगशाळेत अनुरेख विस्तार गुणकाचे निश्चयन पुढील संपरीक्षेने  
 करतात

कस ही परीक्ष्य धातूची सळई म मा नळवाडघात टेवलेली  
 अमने. या नळवाडघा बाहेरील पृष्ठभाग असवाही (non-conduc-  
 ting) पदार्थाने झावलेला असतो नळवाडघाच्या दोन टोकाकडील  
 त्वशा (cork) मधून सळईची टोरे आहृति ७-१ मध्ये दर्शविल्या-  
 प्रमाणे किंचित् बाहेर झालेली अमनात, सळईचे क टोक घ या



आ. ७-१

स्थायी भ्रमीवर टेंकलेले असल्यामुळे विस्तरणामयी ते पलीकडे सरकू शकत नाही मात्र ख टोक पलीकडे सरवते भ या अणुमान भ्रमीचे टोक आवश्यकतेनुसार मळईच्या ख टोकाला सस्पशित करता येते त या तापमानाने सळईचा ताप समजतो, च नळीद्वारे पाणी अथवा प्रवाण नळकाडघात शिरते आणि छ नळीवाटे ते गाहेर पडते.

प्रथम भ चे टाक ख पासू दूर वरून उकळत्या पाण्याचे वाष्प च, छ मार्गे नळकाडघातून जाऊ देतात नळकाडघातील भागाचा ताप प्रवाण्याच्या तापाइतका वाढून ताप स्थिर झाल्यावर या तापाचे वाचन त तापमानावर घेता येते अशा रीतीने काही वेळ प्रवाष्प मुक्तपणे नळकाडघातून जाऊ दिल्यावर भ भ्रमीचे टोक तप्त सळईच्या ख टाकाशी सस्पशित वरून भ भ्रमीचे पहिले वाचन घेतात. त्यानंतर प्रवाणा ऐवजी कोष्ठनापावरोल पाणी नळकाडघातून जाऊ देतात या स्थितीत मळईच मकोचन होऊन, ख टोक भ्रमीच्या टोकापासून थोडे मागे सरकत. ताप स्थिर झाल्यावर, तापमानाने वाचन घेतात. भ्रमिदोषी योग्य दिशेने फिरवून, भ टोक ख टोकाशी सस्पशित वरून भ्रमीचे दुसरें वाचन

घेतात. प्रवाष्पाच्या तापापासून कोष्ठतापावर येईपर्यंत कस सळईचे क्षालेले सकोचन (contraction) भ्रमीच्या वरील दोन्ही वाचनाच्या भेदाइतके असते कस सळईची कोष्ठतापावरील लांबी (दा<sub>१</sub>) मापल्यास,

$$अ = \frac{दा_२ - दा_१}{दा_१ (त_२ - त_१)} = \frac{\text{भ्रमीच्या दोन वाचनातील भेद}}{\text{कोष्ठतापावरील सळईची लांबी} \times \text{(प्रवाष्पाचा ताप आणि कोष्ठताप या दोहोतील भेद)}}$$

वरील समीकागतील उजव्या पक्षातील राशीच्या अर्हा माहीत असल्याने, सळईच्या अ अनुरेख विस्तार गुणकाचे गणन करता येते.

वरील संपरीक्षित पुढील विभ्रम समवतात.

(१) सळईची दोन्ही टोके नळवांडघावावर असल्यामुळे, बाहरील वायुनीं त्याचा रावध येऊन, या दोन टावाचा ताप नळवांडघातील नळईच्या तापापेक्षा थोडा न्यून असतो

(२) नळवाडे उदा स्थामावर वसविलेले असते त्या स्थामाला सवाहन (conduction), विहिरण (radiation) इत्यादींच्या द्वारा तप्त नळवांडघापासून ऊष्मा मिळतो ह्यामुळे हा स्थाम थोडा विस्तार पावून, घ भ्रमि आणि भ अणुमान भ्रमि यांच्यातील अंतर थोडे जास्त वाडते अर्थात् यामुळे सळईच्या मापलेल्या विस्तारणात थोडी न्यूनता येते

(३) तसेच त तापमाताचा पारदस्तम्भ विगोपित (उघडा) राहिल्यास, प्रसरण ६ त सांगितल्याप्रमाणे तापवागनात विभ्रम येतो



तन्नु परीक्ष्य शलाकेवरील खुणावर आणतात यावेळींही दोन्ही घामीची वाचने घेतात. दुसऱ्या आणि तिसऱ्या वाचनावस्तु तापवर्धनाने सळईचे शाकेले विस्तरण कळने सरतेगेवटी, पुन एवदा तमाप शलाकेची टोणो अष्पीभासालो आणून, त्याचे अनुप्रस्य तन्नु तमाप शलाकेच्या खुणावर आणतात. या योगाने अष्पीतामधील अंतर स्थिर आहे किंवा नाही हे पडनाळून पाहता येते वरील संपरीक्षेत तापाचे वाचन महानूच्या रोन तापमानाने घेतान.

वस्तूचा ताप वाढल्याने अथवा न्यून झाल्याने वस्तूच्या परिमैत जें परिवर्तन होणे त्या परिवर्तनाला विरोध करण्यास प्रचंड बल लागतें वस्तू ही लोखंडी जाड सळई रक्तोष्ण तापवून, प फ या म्यामावर आकृति ७-३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे बसविली आहे सळईच्या क कडील भागातील छिद्रान ग हा लहान लोखंडी गज्याचा तुकडा अडकवून, ख टाकाकडील घ हा नट (screw-nut) घट्ट बसविला असतो प फ त्यास पुरेसा दृढ असल्यास, क ख या ताप रक्तोष्ण स्थितीतून न्यून होत असता, वस्तूचे सकोचन होते. या सकोचनाला विरोध करणारा ग लोखंडी गज तुटतो यावस्तु, तापपरिवर्तनाचे वस्तूत हाणाच्या परिमापरिवर्तनाला वाव न मिळाल्यास, त्या वस्तूची निगडित असण्या इतर वस्तूवर प्रचंड बलाची क्रिया होणे असे दिसत. लोहमार्गावरील एकाच रेषेतील लगनच्या दोन वगामध्ये (rails) अंतर असून ऋतुमानाने हाणाच्या

( आकृति ७-२ आ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ) जवळ जवळ दोन भाग वेलेले असतात. यांतील एका भागात परीक्ष्य धातूची शलाका ठेवतात, आणि थ या पग्यामुळे द्रोणीतील पाणी वाणाच्या दिशेने वाहून राहून या द्रोणीच्या सर्व भागाचा ताप समान असतो.

प्रमाण आणि परीक्ष्य शलाकाच्या दोन्ही टोकावर सूक्ष्म खुणा वेलेल्या असतात ताप  $0^{\circ}$  श असताना प्रमाण शलाकेच्या खुणामधील अंतर १ मान असत परीक्ष्य शलाकेवरील खुणामधील अंतरहि जवळ जवळ १ मान असते

प्रमाण शलाका असलेली प्रथम द्रोणी अण्वीक्षाखाली आणून, त्या शलाकेच्या दोन्ही टोकावर त्या त्या अगाकडील अण्वीक्षावे नाभीयन (focussing) करतात अण्वीक्षातील अनुप्रस्थ तंतू (cross wires) शलाकेवरील खुणावर आणून भ्रमीची वाचने घेतात त्यानंतर प्रमाण शलाकेची द्रोणी एकीकडे सन्न, परीक्ष्य शलाका असलेली द्रोणी लोहमागविस्तन अण्वीक्षाखाली आणतात यावेळी, द्रोणीतील पाणी हिमशेत तापावर असत ह्याहि शलाकेच्या टोकावरील दोन खुणामधील अंतर  $0^{\circ}$  श तापावर जवळ जवळ १ मान असताने द्रोणी अण्वीक्षाखाली आणल्यावर, अण्वीक्षानील अनुप्रस्थ तंतू शलाकेच्या खुणावर आणताना भ्रमीद्वारा अण्वीक्ष किंचित् कडेला सरकवावे लागतात दोन्ही भ्रमीच्या या वाचनावरून, परीक्ष्य शलाकेवरील खुणामधील  $0^{\circ}$  श वरील आयाम आणि १ मान आयाम यातील भेद समजतो, अर्थात्, परीक्ष्य शलाकेच्या दोन खुणामधील  $0^{\circ}$  श तापावरील आयामाचे परिशुद्ध गणन करता येते त्यानंतर परीक्ष्य शलाका असलेली द्रोणी अण्वीक्षाखालून नरकवून, द्रोणीतील पाण्याचा ताप वाढवतात उच्च ताप स्थिर झाल्यावर, ही द्रोणी पुन अण्वीक्षाखाली आणून पूर्वीप्रमाणेच भ्रमि फिरवून अनुप्रस्थ

तन्तू परोक्ष शलाकेवरील खुणावर आणतात यावेळीही दोन्ही भ्रमांची वाचने घेतात. दुमच्या आणि निसच्या वाचनाद्वस्त तापवर्धनाने सळईचे झालेले विस्तरण वळते. सरतेगैवटी, पुन एका रमाप शलाकेची शोणी अष्वीक्षामात्री आणून, त्याचे अनुप्रस्य तन्तू रमाप शलाकेच्या खुणावर आणतात. या योगाने अष्वीक्षामधील अंतर स्थिर आहे किंवा नाही हे पडताळून पाहता येते. वरील नपरीक्षेत तापाचे वाचन महानूच्या रोज तापमानाने घेतात.

वस्तूचा ताप वाढल्याने अथवा थ्यून झाल्याने वस्तूच्या परिमते जे परिवर्तन होते त्या परिवर्तनाचा विरोध करण्यास प्रचंड बल लागते वख ही लोखंडी जाड मळई रक्तोष्ण तापवून, प फ या म्यामावर आकृति ७-३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे बसविली आहे. सळईच्या क वडील भागातील छिद्रान ग हा लहान लोखंडी गजाचा तुकडा अडकवून, ख टोकावडील घ हा नह (screw-bolt) घट्ट बसविला असतो. प फ स्थाम पुरेसा दृढ अरुल्यास, क ख चा ताप रक्तोष्ण स्थितीतून न्यून होत असता, क ख चे संकोचन होते. या संकोचनाला विरोध करणारा ग लोखंडी गज तुटतो. याद्वस्त, तापपरिवर्तनाने वस्तूत होणाऱ्या परिमापरिवर्तनाचा वाव न मिळाल्यास, त्या वस्तूची निगडित असलेल्या इतर वस्तूवर प्रचंड बलाची क्रिया होते असे दिसते. लोहमागांवरील एकाच रेयंतोल लंगनच्या दोन बगामध्ये (rails) घोडे अंतर अमत अनुमानाने होणाऱ्या



तापपरिवर्तनाने वशाच्या लांबीत परिवर्तन होत या परिवर्तनाचा वाव मिळावा म्हणून दोन वशामध्ये हे अंतर ठवलेच असत घातूच्या यत्रातील कोणत्याहि भागाचे वरच ताप-परिवर्तन होण्याचा सभव असल्यास, ह्या भागाच्या प्रसरणाला वाव मिळेल अशी रचना हेतुपुरस्सर करतात

### मान्द्राच्या विस्तरणाचा उपयोग

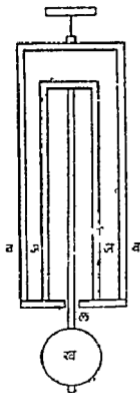
व्यवहारात या तापपरिवर्तनामुळे होणाऱ्या परिमापरिवर्तनाचा उपयोग केलेला आढळतो उदाहरणार्थ चानाची परिधि आणि त्यावर बसविलेल्या लोखंडी भावची परिधि समान असतात घाव चावावर बसविण्यापूर्वी ती नापवून विस्तारित झाल्यानंतर, नष्ट स्थितीतच चावाच्या परिधीवर बसवतात यानंतर, ती घाव पड होताना सकोचित होऊन तिची चावावरील पकड दृढ होते

घटियत्राची गति निदोलाने नियंत्रित केवली असत या निदोलाचा आवतकाल (का) त्याची लांबी (द) आणि न्वावृष्टि स्वरण (भू) यांचा संबंध पुढील सूत्रात द्याविला आहे

$$\text{का} = २ \text{ प्या } \sqrt{\frac{द}{भू}} \quad \text{म ७-६}$$

ताप वाढल्यान द हो लांबा घाढत आणि या निदालाचा आवतकाल वाढना यामुळ घटियत्र कालदर्शनात मागे पडत तमच दिवाळपानील नून तापामुळे द लांबीच सतोवन हाऊन आवतकाल थोडा अल्प झाल्याने घटियत्र कालदर्शनात पुढे जात तापपरिवर्तन मुळ घटियत्रात होणारा हा दोष नाळण्यात, बोग्याहि ऋतत घटियत्रातील निदोलाचा आवतकाल स्थिर ठेवणे आवश्यक असत

## अयोसंशर निदोल (grid-iron pendulum)



आ ७-४

आकृति ७-४ मध्ये दाखविलेल्या अयोसंशर निदोलाने व, व आणि ल या मळ्या लोखंडाच्या अंगाने, आणि ज, ज या जस्ताच्या (zinc) अंगाने.  $0^{\circ}$  स. तापावर व, ज आणि ल या मळ्याची लांबी अनुक्रमे व<sub>०</sub>, ज<sub>०</sub> आणि ल<sub>०</sub> असल्याने,

निदोलाची  $0^{\circ}$  स. तापावरील लांबी  $d_0 = v_0 - j_0 + l_0$ .

अयोसंशराच्या आकृतीवरून हे लक्षात येईल की, व आणि ल यांच्या विस्तारणाने ख मण्ड (bob) खाली ढकलला जातो. परंतु ज च्या विस्तारणाने मात्र तो धर उचलला जातो. त तापवर्धनानंतर या निदोलाची लांबी,

$$d' = (v_0 + l_0) (1 + \alpha t) - j_0 (1 + \beta t)$$

धरील समोकारात व हा लोखंडाचा अनुदैर्घ्य विस्तार गुणक असून,  $\beta$  हा जस्ताचा अनुदैर्घ्य विस्तार गुणक आहे. तापपरिवर्तनानंतर निदोलाची लांबी अचल ठेवावयाची आहे, म्हणून,  $d_0 = d'$  किवा,

$$(v_0 - j_0 + l_0) = (v_0 + l_0) (1 + \alpha t) - j_0 (1 + \beta t)$$

$$\therefore (v_0 + l_0) \Delta t = j_0 \cdot \Delta t$$

$$\therefore \frac{v_0 + l_0}{j_0} = \frac{v}{\Delta x}$$

एका धातूच्या सळ्याची लांबी ही निष्पत्ति या धातूच्या दुसऱ्या धातूच्या सळ्याची लांबी

अनुरेख विस्तार गुणकाच्या निष्पत्तीशी प्रतीपानुपाति असली तर, ऋतुमानाने होणाऱ्या तापपरिवर्तनानंतर निदोलाची लांबी अचल राहते, आणि निदोलाचा आवर्तकाल स्थिर राहतो तापपरिवर्तना-

नंतरहि ज्या निदोलाची लांबी अचल राहते त्या निदोलास 'समतोलित निदोल' (compensated pendulum) म्हणतात

### पारद निदोल

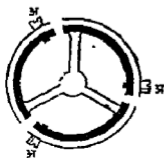
(mercury pendulum)



ग्रॅहॅमच्या पारद निदोलाचे चित्र आकृति ७-५ मध्ये दाखविले आहे क ही एक धातूची समाग (uniform) शलाका असून, तिच्या खालच्या टोकास त्याच धातूच ख हे रभाकार पारद बसविलेले आहे रम्भ पात्रात काही विशिष्ट परिमेव पारद ठेवतात शलाका आणि रम्भ याच्या भाराच्या तुलनेत पारदाचा भार बराच जास्त असण्यामुळे, स्थूलमानाने निदोलाची लांबी प या निलम्बन बिंदूपानून (point of suspension) पारदाच्या भ या म्वाकृष्टि-केंद्रापर्यंत आहे अन् म्हणता येईल पात्रातील पारदाची उंची छ

अवस्थाम, पात्राच्या मर्यादागून म या व्यावृष्टिरेखाची उंची  $\frac{E}{2}$  असते. तापवर्धनादरम, पात्राची परिमा वाढून म विदु जिता वर मखेळ निरसाद मळात आणि पात्र याच्या विम्बरणाने मी मानी आल्याम, निदींशची म्याबो अवळ राहून निदींशचा आवर्तनाळ सर्व ऋतूत स्थिर राहिल.

सहान पटीपत्रान वग्रायसाचा कुतळ स्प्रिंग (hair spring) आणि तुला-चक्र (balance wheel) याच्या योग्य जुळणीने सुत्रा-चक्राच्या परिघ्रमण गति (rotational motion) मिळते या चक्राच्या परिघीने तीन भाग अगतात (आकृति १-६ पाहा) प्रथम भाग दोन भिन्न धातूंच्या पातळ पट्टींचा अगून, बाहेरील पट्टी हो जास्त विस्तार्य (expansible) धातूची असते. आतोल पट्टी न्यून विस्तार्य धातूची असते. तापवर्धनाने बाहेरील भागाचे जास्त विस्तारण झाल्याने, ही पट्टी जास्त वाकते आणि परिघोवरील अ हे धातुपूज अशाच्या घोडे जवळ येतात. तसेच तापदरिवर्तनाने स्क्रन्दाच्या प्रत्यास्थनेतहि परिवर्तन होतें. या घटनाचे योग्य रीतीने समतोलन केल्याने तुला-चक्राचा



आवर्तनाळ भिन्न ऋतूतहि स्थिर राहणो असा प्रकारची रचना जुन्या घडघाळाकरता उपयोगात आणित असत. आधुनिक घडघाळातील स्वन्द स्थिर प्रत्यास्थता असलेल्या एलिनव्हार (elinvar) मिश्रातूचा केलेला असतो

## मापपट्टीचे विस्तरण (expansion of the scale)

परिणुद्ध मापनात उपयोगात आणावयाच्या मापपट्टीवरील भाग आणि प्रभाग याचे अकन  $0^{\circ}$  श. तापावर वेंलेले असते. मापपट्टीचा ताप  $t^{\circ}$  श. ने वाढल्यास या दोन भागांमधील वास्तविक अंतर विस्तरणाने  $(1 + \alpha t)$  इतके होईल. (अ हा मापपट्टीच्या धातूच्या अनुरेख विस्तार गुणक आहे). या पट्टीच्या साहाय्याने आयाम मापन करताना, पट्टीवरील प्रत्यक्ष वाचन १ दि. मा. असल्यास, मापलेला वास्तविक आयाम  $(1 + \alpha. t)$  दि. मा. इतका राहिल, अर्थात्, या मापपट्टीने मापलेल्या आयामाचे प्रत्यक्ष वाचन द असल्यास, वास्तविक आयाम,

$$d' = d (1 + \alpha t) \text{ इतका असेल }$$

अशा रीतीने मापपट्टीच्या प्रत्यक्ष वाचनावरून वास्तविक आयामाचे गणन करता येते.

२६ % रूफ (nickel) आणि ६४ % वज्यायम् (steel) मिळून झालेल्या अचलातु (invar) या मिश्रातूचा (alloy) अनुरेख विस्तारगुणक अत्यल्प असल्याने निर्दोळ आणि मापधेगी याच मिश्रातूच्या करताना

महातु आणि काच याचे अनुरेख विस्तार गुणक समान असल्यामुळे महातूची तार द्रवित् काचेत वसविल्यास काच घड होताना ती त तडकना महातूची तार काचेत घट्ट वसते परंतु, लोखंडामारया धातूचा विस्तार गुणक काचेच्या विस्तार गुणकापेक्षा भिन्न असल्याने द्रवद् काचेत लोखंडी तार वसविल्यास घड होताना काच तडकते.



जाड तळ अनंतल्या वाचपानान उष्ण पाणी किंवा हिम टाकल्यास बहुधा पात्राच्या तळाला तडा जातो. कारण वाच कुसवाही (bad conductor) असल्याने, जाड तळाच्या एका अगावडील भागाचा ताप दुसऱ्या भागाच्या तापापेक्षा बराच निम्न असू शकतो अशा स्थितीत या दोन भागांचे मिश्र विस्तरण होऊन वाच नडवते

द्रविण मंत्रेचा (fused silica) विस्तारगुणक अचूक असल्यामुळे, शीघ्र तापपरिवर्तनांने द्रविण मंत्रेचे पात्र फुटण्याचा संभव नसतो

### प्रश्न

(१) माध्या घडघाळान श्रुतुपरख वसा विग्रम येतो न स्पष्ट करा

(२) एखाद्या सफतुलिन निदालाच वर्णन करा

(३)  $10^{\circ}$  स वर धातूची सळई मापल्यास तिची लांबी १९९८२ सि. मा असल्याचे आढळत.  $४०^{\circ}$  स वर तिची लांबी १०००१२ सि. मा असल्यास, त्या धातूचा रेखीय विस्तार गुणक किती असल ? किती तापावर त्या सळईची लांबी १ मान होईल ?

(४)  $०^{\circ}$  स तापावर अचूक केलेल्या माप श्रेणीचा अनुरेख विस्तार गुणक ०.००००१२२ आहे. या भारपट्टीचा ताप  $५०^{\circ}$  स असताना तिच्या माहात्म्याने केलेल्या मापनात प्रतिसत विग्रम किती होईल ?

(५) आयामाच एकव (क) एक प्रागुल आणि (ख) एक सि मा योजून या दोन एकवात घेतल्या मापनावरून विस्तरण गुणकाच्या गणन केलेल्या अर्हांभिन्न असतील काय ? तापाशाच एकव (ग)  $१^{\circ}$  सतिमान आणि (घ)  $१^{\circ}$  द्रात्रिगादि योजल्यास विस्तरण गुणकाच्या अर्हांचा काय संबंध असावा ?

## प्रकरण ८

# घन विस्तारण

वस्तूचा पुंज स्थिर असल्यास, विशिष्ट तापावर त्या वस्तूची परिमा अवल असते मात्र, वस्तूचा ताप वाढल्याने तिच्या परिमेचे विस्तारण होणे हा परिमाविस्ताराच्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की,

(१) परिमा विस्तार हा त्या वस्तूच्या  $0^{\circ}$  सा तापावरील मूळ परिमेशी अनुपाति असतो

(२) तसेच, परिमा विस्तार  $0^{\circ}$  सा तापापासून गणन वेढेल्या तापवर्धनाशी अनुपाति असतो

वस्तूची  $0^{\circ}$  सा तापावरील परिमा पा<sub>०</sub> असून  $t^{\circ}$  सा तापवर्धनानंतर त्या वस्तूची परिमा पा ने दर्शविल्यास

$$(\text{परिमाविस्तार}) \propto \text{पा}_0 \times (t - 0)$$

$$(\text{पा} - \text{पा}_0) \propto \text{पा}_0 \quad (t - 0)$$

अथवा  $(\text{पा} - \text{पा}_0) = v \times \text{पा}_0 \times t$

यात  $v$  हा स्थिरांक आहे

$$v = \frac{\text{पा} - \text{पा}_0}{\text{पा}_0 \cdot t} \quad (\text{स } ८-१)$$

$v$  ची अहा वस्तूच्या द्रव्यावर अवलंबून अमन समीकार ८-१

घनन व वा व्याप्य पृथीयप्रमाणे यत्ना मंडल. १° तापवर्धन-  
मुळे वस्तूने होणारे परिमाणवर्धन आणि त्या वस्तूची ०° तापवर्धन  
मुळे परिष्ठा याच्या निम्नतीत 'घन विस्तार गुणक' (coefficient  
of cubical expansion) असे म्हणतात.

वस्तूचा ताप ०° न. पेक्षा न्यून झाल्यास वस्तूच्या परिमित  
मर्यादना होणे, असा स्थितीत त वा अर्हा अणु समजून समीकार  
८-१ च्या माहात्म्याने घन विस्तार गुणकाचे मान करत येईल.

समीकार ८-१ पृथीय प्रमाणे लिहिण्याचा प्रघात आहे.

$$V_0 = V_t (1 + \gamma \times t) \dots\dots (8-1)$$

तापवर्धनाने, मात्र वस्तूचे सर्व दिशांनी सारखेच विस्तार  
होत असल्यास, त्या वस्तूचा अनुरेख विस्तार गुणक आणि घन  
विस्तार गुणक याचा मध्य पृथीयप्रमाणे दर्शवित येतो.

०° न ताप अनताना  $V_0$  परिष्ठा असलेल्या आकारात  
मात्राची लांबी, रुंदी आणि उंची अनुक्रमे  $k_1$ ,  $k_2$  आणि  $k_3$   
ने दर्शविल्यास,

$$V_0 = k_1 \times k_2 \times k_3 \dots (1)$$

तथा ताप अनताना त्याच वस्तूची परिष्ठा  $V_t$  अनून,  
दिची लांबी, रुंदी आणि उंची अनुक्रमे  $k_1$ ,  $k_2$  आणि  $k_3$   
पानी दर्शविल्यास,

$$V_t = k_1 \times k_2 \times k_3 \dots (2)$$

वस्तूचा न अनुरेख विस्तार गुणक सर्व दिशांनी सारखाच असल्यास,



अनुरेख विस्तार गुणकाच्या योगा (sum) इतकी आहे असे म्हणता येते.

परिमा विस्तार गुणक दर्शविणाऱ्या पदसहतीत (समीकार १-१ मधील उजवा पक्ष पाहा). परिमाची निष्पत्ति असल्याने परिमेच्या एककावर विस्तार गुणकाची अर्हा अवलंबून नसते तथापि, या गुणकाची अर्हा तापश्रेणीवर अवलंबून असते. सामान्यतः विस्तार गुणकाच्या गणनात शक्ति तापश्रेणीचा उपयोग केलेला असतो

### पात्राचें विस्तरण

द्रव आणि वाति वस्तूंचे परिमा मापन त्या वस्तू ज्या पात्रात ठेवलेल्या असतील त्या पात्राच्या धारितेच्या साहाय्यानेच करता येते. तापपरिवर्तनांने पात्राच्या भितीच्या (walls of the vessel) लांबी, रुंदी, उंचीत परिवर्तन होऊन पात्राच्या धारितेचेहि परिवर्तन होतें हे परिवर्तन माहित असल्यास पात्रातील प्रवाही वस्तूच्या परिमेचे परिशुद्ध गणन करता येते सोयीच्या दृष्टीने लांबी रुंदी आणि उंची समान असलेल्या पात्राच्या धारितेचा विचार करू. श ताप असनांना या पात्राची धारिता पा आणि समान लांबी, रुंदी आणि उंची ही प्रत्येकी वने दर्शविल्याम

$$\text{धारिता} = \text{पा.} = \text{व.}^3$$

त श. तापवर या पात्राच्या प्रत्येक भितीची लांबी, रुंदी आणि उंची प्रत्येकी व झाल्यास

$$\text{व} = \text{व.} \cdot (१ + \alpha \text{ त})$$

पात्र ज्या द्रव्यात केलेल असत त्या द्रव्याचा अनुरूप विस्तार गुणक  $\alpha$  नें दर्शविण आह.

०° श. ताप अमत्याग, पात्राची धारिमा वा अमत्याग

$$पा = व^३ = व^३ (१ + अ. त)^३$$

$$= पा. (१ + अ. त)^३$$

$$= पा. (१ + व. त)$$

०° शतांदा तापावर घन वस्तूची परिमा पा. अमत्याग या घन वस्तूची त° श. तापावर परिमा पा. (१ + व. त) अमते, आणि वरील समीकारावरून अमे दिवने की पात्राच्या धारितावर्धनाचे गणन त्याच वस्तुद्रव्याच्या समान परिमा असलेल्या सांद्राच्या घन विस्तारणाच्या गणनाप्रमाणे करता येईल. म्हणजे पात्र आणि सांद्र हे एकाच वस्तुद्रव्याचे असल्यास तापवर्धनाचे पात्राच्या धारितेन होणारा विस्तार तितक्याच परिमेच्या सांद्राच्या परिमाविस्ताराइतका असतो

### तापाचा घनतेवर होणारा परिणाम

तापपरिवर्तनाचे वस्तूच्या परिमोन परिवर्तन झाल्यामुळे तिच्या घनतेसहि परिवर्तन होते ०° श. आणि त° श या तापावरील वस्तूच्या परिमा अनुक्रमे पा. आणि पा असून तिची घनता अनुक्रमे घ. आणि घ असल्यास,

$$वस्तूचा पृष्ठ = पा. घ. = पा घ$$

परंतु, समीकार ८-२ वरून,

$$पा = पा. (१ + व. त)$$

$$\therefore पा. घ. = पा. (१ + व. त) घ$$

किंवा,  $\phi_0 = \phi (1 + v t)$  .. स ८-४

$$\phi = \frac{\phi_0}{(1 + v t)}$$

अथवा  $\frac{\phi}{\phi_0} = \frac{1}{(1 + v t)}$  ... स ८-५

०° श वरील आणि त° श तापावरील तरलाच्या घनतेच्या निष्पत्तीवरून तरलाच्या परिमा विस्तार गुणकाचे निश्चयन वरील भूत्राच्या साहाय्याने करता येत ह लक्षात घेईल.

### घन विस्तार गुणकाचे निश्चयन

घन विस्तार गुणकाच्या निश्चयनाकरता वस्तूच्या ०° श. तापावरील परिमेचे मापन करणे नेहमीच सुलभ नसते त° श आणि त२° श तापावर एका वस्तूच्या परिमा अनुक्रमे पा१ आणि पा२ ने दर्शविल्यास,

$$पा_१ = पा_० (1 + v t_१)$$

$$पा_२ = पा_० (1 + v t_२)$$

$$\begin{aligned} \text{यावरून, } \frac{पा_२}{पा_१} &= \frac{(1 + v t_२)}{(1 + v t_१)} = (1 + v t_२) (1 + v t_१)^{-१} \\ &= (1 + v t_२) (1 - v t_१ + v^२ t_१^२) \dots \end{aligned}$$

सांद्र आणि तरल वस्तूचे घन विस्तार गुणक अल्प असल्याने,  $(v^२ t_१^२), (v^२ t_१ t_२) \dots$  इत्यादि अल्पतर सख्या उपेक्षून,

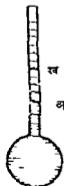
$$\frac{P_2}{P_1} = [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \dots\dots\dots \text{म. ८-६}$$

$$\therefore \alpha = \frac{P_2 - P_1}{P_1 (t_2 - t_1)} \dots\dots\dots \text{म. ८-७}$$

यावरून, सान्द्र आणि तरल वस्तूंच्या दोन भिन्न तापावरील परिमा मापनाने त्या वस्तूच्या घन विस्तार गुणकाचे गणन करता येते.

### मन्य आणि प्रत्यक्ष विस्तारण (true and apparent expansion)

तरलाचे तापवर्धनाने होणारे विस्तारण मापण्याकरता, अन्न घेतलेल्या पात्रात तरल टेंपावे लागते. आकृति ८-१ मध्ये दाखविलेल्या पात्रात  $0^\circ$  चा ताप असलेले तरल अ खुणेपर्यंत भरलेले आहे अशी कल्पना करू पात्राच्या धारिनेचे अ खुणेवरील वाचन  $P_0$  असल्यास, पात्रातील तरलाची  $0^\circ$  चा तापावरील परिमा  $P_0$  होईल पात्राचा ताप  $t^\circ$  चा असताना, पात्रातील तरलाचे विस्तारण झोकून तरलाचा पट्ट अ पासून ख पर्यंत वर आला असे समजू ख खुणेवरील वाचन  $P'$  असल्यास,  $t^\circ$  चा तापावरील तरलाची परिमा  $P'$  होईल पात्राच्या धारिनेचे विस्तारण लक्षात न घेतल्यास,  $P_0$  परिमा असलेल्या तरलाचे  $t^\circ$  तापवर्धनाने होणारे पात्रातील प्रत्यक्ष विस्तारण  $(P' - P_0)$  इतक होईल





$$\therefore v_{प्र} = \frac{पा' - पा_0}{पा_0 \cdot त}$$

व प्र या राशीला तरलाचा प्रत्यक्ष विस्तार गुणक म्हणतात

पात्राच्या धारितेच अकन  $0^{\circ}$  च तापावर केले असल्याने  $t^{\circ}$  च ताप असताना स पर्यंतची पात्राची वास्तविक धारिता  $पा'$  नसून ती धारिता  $पा'$   $(1 + क त)$  इतकी अमते, \* म्हणून पात्रातील तरलाची  $t^{\circ}$  च तापावरील वास्तविक परिमा  $पा [(1 + क त)]$  हे लक्षात घेईल या पदसहतीन व हा पात्राच्या द्रव्याचा घन विस्तार गुणक आहे  $0^{\circ}$  च तापावर  $पा_0$  मूळ परिमा असलेल्या तरलाचे, तापवर्धनाने होणार वास्तविक परिमावर्धन  $[पा (1 + क त) - पा_0]$  हें आहे म्हणून, विस्तार गुणकाच्या व्याख्येनुसार तरलाचा सत्यविस्तार गुणक  $v_{स}$  असल्यास,

$$v_{स} = \frac{[पा_0 (1 + क. त) - पा_0]}{पा_0 \cdot त}$$

$$\therefore पा (1 + क त) = पा_0 (1 + v_{स} त) \quad (२)$$

समीकार (२) ला समीकार (१) ने भागून,

$$(1 + क. त) = \frac{1 + v_{स} त}{1 + v_{प्र} त}$$

$$\text{अपवा} \quad (1 + व_{स} त) = (1 + क त) (1 + व_{प्र} त)$$

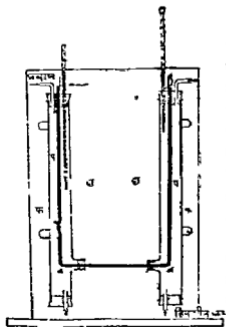
$$= 1 + व_{प्र} त + क त + व_{प्र} क. त^२$$

व.व प्र त<sup>२</sup> ही अल्पतर अर्हा उपेक्षून,

$$(1 + v_{स.त}) = [1 + t (v_{प्र}^2 + v)]$$

$$\therefore v_{स} = v_{प्र} + v \dots \dots (स ८-८)$$

तरलाच्या प्रत्यक्ष विस्तार गुणकाची अर्हा आणि पात्राच्या द्रव्याच्या घन विस्तार गुणकाची अर्हा यांच्या मिळवणी इतकी तरलाच्या सत्य विस्तार गुणकाची अर्हा असते बराल निष्कर्ष पात्राचा आकार, धयवा त्याची परिमा यावर अवलंबून नाही हे लक्षान घेईल,



का ८-२

सत्य विस्तार गुणकाचे निदर्शयन पुढील प्रमाणे करतात आकृति ८-२ मध्ये . दाम्बविल्याप्रमाणे उर्ध्ववाहू नळीचे 'क' आणि 'ख' हे उर्ध्ववाहू अनुक्रमे 'क' आणि 'ख' या दोन काचेच्या माठ्या नळकाड्यात बसविले असतात या उर्ध्ववाहू नळीत परिशुय तरल भरलेले असत (प्रयागशाळेत या संपराक्ष पारद वापरतात) 'क' आणि 'ख' या नळकाड्यातून अनुक्रमे हिमशीतजल आणि प्रवाप प्रवाहित ठेवतात यामुळे 'क'

आणि प यामधील तरलाचा ताप अनुक्रमे  $0^{\circ}$  स. आणि  $t^{\circ}$  स. असतो. ( हा ताप प्रवाण्याच्या तापाइतका असतो ). दोन्ही वाहूवडील तापमानाची वाचने स्थिर झाल्यावर, उर्ध्ववाहूच्या व आणिव'या धैरिज नळीपामून शीत आणि तप्त तरल-स्तम्भाची अनुक्रमे छ. आणि छ ही उंची उल्लेधमानाच्या (cathetometer) साहाय्याने मापतात. शीत आणि तप्त वाहूतील तरलाची घनता अनुक्रमे प. आणि घ आहे असे समजू बव' समतलावरील छ. आणि छ या तरलस्तम्भाचे निपीड समान असने म्हणून,

$$\text{छ. प. नू} = \text{छ घ नू}$$

$$\therefore \frac{\text{प. छ}}{\text{प}} = \frac{\text{छ}}{\text{छ.}}$$

परन्तु,  $\frac{\text{प. छ}}{\text{प}} = (1 + \text{व. स. त}) \dots$  [समीकार ८-५ अनुसार]

$$\therefore (1 + \text{व. स. त}) = \frac{\text{छ}}{\text{छ.}}$$

$$\therefore \text{व. स. त} = \frac{\text{छ}}{\text{छ.}} - 1$$

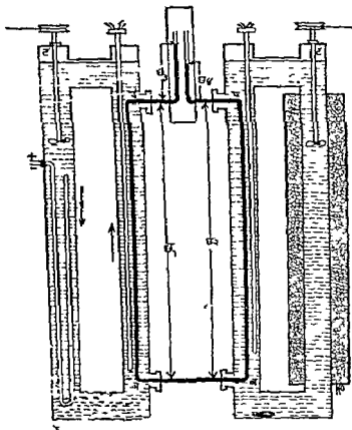
$$\therefore \text{व. स. त} = \frac{\text{छ} - \text{छ.}}{\text{छ. त}}$$

छ आणि छ. या तरल-स्तम्भाच्या उंचीची वाचने उल्लेधमानात घेतलेली भ्रमल्याने, या साधनाच्या बोगरुपाहि भागाच्या विस्तरणाचा परिणाम या स्पष्टममापनात लक्षात घ्यावा लागत नाही या रातीने

१८१६ मध्ये डुलांग आणि पेटोट या शास्त्रज्ञांनी पारदाच्या सत्य विस्तार गुणकार्थे निरचयन केले.

वरील माधिप्राच्या उपयोगात,  $p$  आणि  $p'$  नळकांडघा-  
वाहेरील उर्ध्वाङ्घ्या विगोपित भागाचा ताप नळकांडघांतील  
भागाच्या तापापेक्षा किंचित् भिन्न असल्यामुळे प्रत्येक तरल-स्तम्भाचा  
ताप एकरूप नसतो म्हणून ह्या रीतीने निश्चित केलेली  $v_m$  ची  
अर्हा विशेष परिशुद्ध नसते. तसेच, या माधिप्रातील  $p$  नळकांडघांचें  
तापन प्रवाप्याने होत असल्याने, केवळ प्रवाप्याच्याच तापावर  $v_m$  चें  
निरचयन करता येते.  $v_m$  चें निरनिराळ्या तापावर निरचयन  
करावयाचे असल्यास,  $p$  नळकांडघाचा इष्टताप स्थिर ठेवण्याकरतां  
प्रवाप्याव्यतिरिक्त दुसऱ्या एखाद्या रीतीचा अवलंब करणे आवश्यक  
आहे. या दृष्टीने कॅलेंडर या शास्त्रज्ञाने योजलेले माधिप्रा  
वरेच निर्दोष आहे

आकृति ८-३ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे  $p$  व हा पारदस्तम्भ हिमशीत  
जलतापनांत असल्याने त्याचा ताप  $0^\circ$  स वर स्थिर असतो.  $p'$  व हा  
पारदस्तम्भ तेल असलेल्या तापस्थापान (thermostat) ठेवतात. या  
तापस्थानाचा ताप विद्युत्वाहाने नियंत्रित करता येत असल्यामुळे,  $p'$  व  
या पारदस्तम्भाचा ताप वऱ्याच मर्यादितपर्यंत परिवर्तित करता येतो  
आणि अनेक भिन्न तापावर पारदाच्या सत्य विस्तार गुणकार्थे निरचयन  
करणे शक्य होणे ट आणि ट'या पंख्यांनी तापनाचा ताप एकरूप  
ठेवता येतो. निरनिराळ्या पारदस्तम्भाची उंची उन्नेषमानाने  
मापनात पारदस्तम्भाशी स्पशित असलेल्या वेगवेगळ्या महानु-रोष-  
तापमानाने त्या स्तम्भाचा ताप परिशुद्धतेने मापतात. ताप स्थिर  
असताना, स्तम्भातील पारदाचा ताप एकरूप असतो. हिमशीत-



का ८-३

जलाच्या साहाय्याने छ<sub>२</sub>, छ<sub>३</sub> आणि छ<sub>४</sub> या पारदस्तम्भाचा ताप ०° म  
 टेवतात छ<sub>१</sub> या पारदस्तम्भाचा ताप तंथ न दर्शविला असून  
 स्यातील पारदाची घनना घ आहे व व धंतिज नळीच्या घान  
 टोकावरील तिपीड ममान असल्यामुळे,

$$C_2 \cdot \rho \cdot h + C_4 \cdot \rho \cdot h = C_1 \cdot \rho \cdot h + C_3 \cdot \rho \cdot h$$

$$(C_2 + C_4 - C_3) \rho \cdot h = C_1 \cdot \rho \cdot h$$

$$\therefore \frac{C_1}{C_2 + C_4 - C_3} = \frac{\rho \cdot h}{\rho \cdot h}$$

परंतु समीकरण ८-५ प्रमाणे

$$\frac{\rho_0}{\rho} = (1 + \alpha_m \cdot t)$$

$$\frac{C_1}{C_2 + C_4 - C_3} = 1 + \alpha_m \cdot t$$

$$\alpha_m = \frac{C_1 - (C_2 + C_4 - C_3)}{(C_2 + C_4 - C_3) \cdot t}$$

• 'शे' सामून १००°स. तापपर्यंत पारदाचा सत्य विस्तार-गुणक ०.०००१८२ इतका असतो. या पुढील तापपर्यंत पारदाच्या सत्य विस्तार गुणकाची अर्हा यापेक्षा थोडी जास्त असते असे आढळून आले आहे.

### भार-तापमान (weight thermometer)

भार-तापमानाच्या व काच नळीचे खालचे टोक वर अतर्क (जाहति ८-४ पाहा). नळीचा वरचा भाग ज्योतीत तापवून दाब प्रवाची स्थितीत येताच, योग्य राशीने ओडून हा भाग बरू केमालनलिकाकार केलेला असता प्रथम व नळीचा पु पुढे नुसते निश्चित करतात नळीत तरल भरण्याकरिता ती पार्श्वीत



आ ८-४

थोडी तापवून, लगेच तिच्या केशालनलिकेचे तोंड पात्रातील तरलात बुडवितात. नळी निवून कोष्ठतापावर येताना तिच्यातील वायूचे सकोचन होऊन या वायूच निपीड न्यून होत. यामुळे, पात्रातील तरलावरील वायुमण्डलीय निपीडाने काही तरल नळीत सारले जात नळी पुन थोडी तापवून केशालनलिकेच तोंड तरलात बुडविल्यास, नळी कोष्ठतापावर येताना तीत थोडें जास्त तरल शिरते अशा रीतीने नळी आळीपाळीने तापवून आणि निववून तरलाने पूर्णपणे भरतात यानंतर, नळीतील तरलाचा ताप (त<sub>१</sub>) कोष्ठतापावर स्थिर होईपर्यंत, केशालनलिकेचे तोंड पात्रातील तरलात

बुडवून ठेवतात (अवश्य तर द्रवद् हिमाच्या साहाय्याने नळीतील तरलाचा ताप ०°श वरहि स्थिर ठेवता येतो) नंतर तरलाने पूर्णपणे भरलेली ही नळी बाहेरून कोरडी करून तिचा (पु<sub>१</sub>) पुज तुलेने निश्चित करतात यानंतर, भारतापमानाची नळी योग्य उष्ण जलतापनात (hot-water bath) ठेवून तापनाचा ताप वाढवितात या स्थितीत नळीतील तरलाच्या परिमेच विस्तरण होऊन काही तरल नळीतून बाहेर पडतें तापनाचा उच्च ताप (त<sub>२</sub>) स्थिर झाल्यावर, नळी बाहेर काढून घेतात [प्रयोगशाळेत नळीच्या केशालनलिकेचे तोंड पाण्याच्या वर राहिल अशा वेगाने नळी उचळल्या पाण्यात ठेवतात] नळीचा ताप कोष्ठतापाइतका झाल्यावर तिच्यातील उरलेल्या तरलामकट तिच्या पुजाच (पु<sub>२</sub>) तुलेने मापन करतात

कोष्ठनापावर तरलाची घनता  $\rho$  अमून क नळीची धारिता पा असल्यास,

$$\rho_a = \frac{\rho_1 - \rho}{\rho} \text{ कारण } (\rho_1 - \rho) \text{ पुंज असलेल्या तरलाने}$$

नळी कोष्ठनापावर पूर्णपणे भरलेली होतो. तापवर्धनाने नळीच्या धारितेतोल होणारी वाढ लक्षात न घेतल्यास, नळीत उरलेल्या  $(\rho_2 - \rho)$  पुंज असलेल्या तरलाची  $t_2$  उच्च तापावरील परिमा पा होच समजावी लागेल. या उरलेल्या तरलाची  $t_1$  कोष्ठनापावरील परिमा पा' ने दर्शविल्यास,

$$\rho_a' = \frac{\rho_2 - \rho}{\rho}$$

यावरून,  $(\rho_2 - \rho)$  पुंज असलेल्या नळीत उरलेल्या तरलाची पा' परिमा  $t_1$  तापावर अमून  $t_2$  तापावर त्याच तरलाची प्रत्यक्ष परिमा पा होते. म्हणून, समीकार  $C - 6$  अनुसार,

$$\rho_a = \rho_a' [ 1 + \alpha_{\rho} (t_2 - t_1) ] * ..$$

वरील समीकारात नळीच्या धारितेतोल वाढ लक्षात न

\* नळीची (पा) धारिता तापवर्धनाने पा  $[ 1 + \alpha (t_2 - t_1) ]$  इतकी होते आणि नळीत उरलेल्या तरलाची  $t_2$  या उच्चतापावरील वास्तविक परिमानुद्धा हीच आहे, हे लक्षात घेतल्यास वरील समीकार पुढीलप्रमाणे परिमृद्धतेने लिहिता येईल

$$\rho_a [ 1 + \alpha (t_2 - t_1) ] = \rho_a' [ 1 + \alpha_{\rho} (t_2 - t_1) ]$$



घेतल्याने  $v_{प्र}$  हा नळीतील तरलाचा प्रत्यक्ष विस्तार-गुणक आहे  
 पा आणि पा' याच्या, पुज आणि घनता रूपात वर निदिष्ट केलेल्या  
 अर्जां आदिष्ट केल्यास,

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{P_2 - P_3}{\rho} - [1 + v_{प्र} \cdot (t_2 - t_1)]$$

$$\therefore P_1 - P_2 = (P_2 - P_3) + (P_2 - P_3) (t_2 - t_1) \cdot v_{प्र}$$

$$\therefore v_{प्र} = \frac{P_1 - P_2}{(P_2 - P_3) \cdot (t_2 - t_1)}$$

### तरल स्थैतिकीय रीति (hydrostatic method)

आकिमिडीज्चा तरलातील भारहानि सचधीचा सिद्धान्त या  
 रीतीत उपयोगात आणला आहे. तरलात बुडणाऱ्या एका सान्द्र  
 वस्तूच्या (भा) भाराचे तुळेने निश्चयन करतात, त्यानंतर ती  
 वस्तू  $0^{\circ}$  स. ताप असलेल्या तरलात बुडवून त्या वस्तूचा तरलातील  
 (भा<sub>०</sub>) भार निश्चित करतात तरलाचा ताप वाढवून त्याचा  
 (त<sub>१</sub>) उच्चताप स्थिर झाल्यावर त्याच सान्द्राचा, (त<sub>१</sub>) तापावरील  
 तरलातील (भा<sub>१</sub>) भार निश्चित करतात

$$\left. \begin{array}{l} 0^{\circ} \text{ स. ताप असताना} \\ \text{सान्द्राची तरलात} \\ \text{(हा<sub>०</sub>) भारहानि} \end{array} \right\} = \text{भा} - \text{भा}_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{सान्द्राच्या परिमिती} \\ \text{उत्सारित झालेल्या } 0^{\circ} \text{ स} \\ \text{तापावरील तरलाचा भार} \end{array} \right.$$

$$\text{भा} - \text{भा}_1 = \frac{\text{भा}}{\rho} \rho_1 \quad \dots (१)$$

वरील गमीरारांत  $0^{\circ}$  स तापावरील तरल आणि सान्द्र  
 यांच्या घनता अनुक्रमे  $\rho$ , आणि  $\rho_1$  आहेत

स्वामप्रमाणे, सरलाचा ताप  $t_1$  व अमनाता,

मान्द्राची तरंगातील भारहानि,

$$h_1 = m_1 - m_2$$

$$= \frac{m_1}{v_1} (1 + v_1 t_1) \quad (2)$$

वरील समीकारात  $v_1$  हा मान्द्राच्या द्रव्याचा घनविक्षार-गुणक असून,  $v_1$  ही तरलाची  $t_1$  म. तापावरील घनता आहे ममीकार (२) ने समीकार (१) ला भागून,

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_2} = \frac{v_1}{v_1 (1 + v_1 t_1)}$$

परंतु  $\frac{v_1}{v_1} = (1 + v_1 t_1)$ , समीकार ८-११ अनुसार

मात्र  $v_1$  हा तरलाचा म-य विस्तारगुणक आहे

$$\frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_2} = \frac{1 + v_1 t_1}{1 + v_1 t_1} = \frac{h_1}{h_1}$$

०° म आणि  $t_1$  म. तापावर वस्तूची तरलातील भारहानि निदिशत करून,  $v_1$  आणि  $v_2$  या दोहोंपैकी एकाची अर्हा मातीन

असल्यास दुसऱ्याची अर्हा गणन करता येईल

वापीडमान शोधन

(correction for barometer reading)

प्रयोगशालेंत वायुतापावर वापीडमान असताना त्याच्या वाचना वरून वायुमण्डलीय निपीडाचें गणन करण्यात दान विभ्रम समवनात-  
(१) मापपट्टीचे अकन सामान्यतः ०°श वर वेलेले असत या मापपट्टीचा ताप त°श असताना तिच्या साहाय्याने वाचलेल्या पारद स्तम्भाचा व्यास छः अमल्यास या पारदस्तम्भाचा वास्तविक व्यास, छः (१ + अ त) इतका असतो (मापपट्टीच विस्तरण - पृष्ठ १९३ पाहा) तसेच, पारदाचा ताप त°श असून त्याची या तापावरील घनता घ अमल्यास,

वायुमण्डलीय निपीड = छः (१ + अ त) घ भू  
हून वायुमण्डलीय निपीड ०°श ताप असल्या पारदाच्या ग्रा. स्तम्भाने तुलित झाल्यास,

ग्रा. घ. भू = वायुमण्डलीय निपीड = छः (१ + अ त) घ भू  
यात घ, ही ०°श तापावरील पारदाची घनता आहे

$$\text{छः} = \text{छः} (१ + अ त) \frac{\text{घ}}{\text{घ.}}$$

परंतु  $\frac{\text{घ}}{\text{घ.}} = \frac{१}{१ + \alpha_m t}$  (समीकरण ८ - ५ अनुसार)

यात  $\alpha_m$  हा पारदाचा सत्य विस्तार-गुणक आहे

$$\text{छः} = \text{छः} \frac{(१ + अ त)}{(१ + \alpha_m t)}$$

$$छा_1 = छा (1 + अ. त) (1 + व. त)^{-1}$$

द्विपद प्रमेयाचा उपयोग करून आणि  $(व. त)^2$  इत्यादि  
अल्पतर राशी उपेक्षून,

$$\therefore छा_1 = छा (1 + अ. त) (1 - व. त)$$

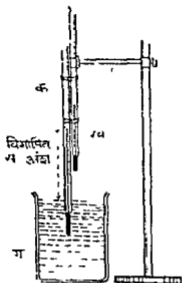
उजव्या पक्षांतील घुणाकारात येणाऱ्या  $(व. अ. त^2)$  अल्पतर  
अर्हा उपेक्षून,

$$छा_1 = छा [1 - (व. - अ) त]$$

वरील सूत्राच्या साहाय्याने स कोष्टताप अमलेल्या पारद-  
वापीदमानाच्या वाचनःचे शोधन करून,  $0^\circ$  चा ताप अमलेल्या  
शरदरतम्भाच्या वायामाने वायुमण्डलीय नियोज दर्शविता येते.

### विगोपित स्तम्भ विभ्रम (exposed stem correction)

कोणत्याहि तापमानाचे वाचन घेताना त्याचा कन्द आणि  
स्तम्भ या दाहोतील पारदाचा ताप एवच अमणें अवश्य आहे  
क तापमानाच्या विगोपित भागातील अंशाची सत्या स आहे  
य तापनाचा वास्तविक ताप  $t_2$  अमलाना क तापमानाचे वाचन त  
आहे असे समजू विगोपित स्तम्भाला सस्तरित ठेवलेल्या स  
द्या दुमऱ्या तापमानाने या विगोपित स्तम्भाचा ताप  $(t_1)$  मापता  
येतो (आकृति ८-७ पाहा). समजा, क तापमानाच्या कोणत्याहि  
निवटच्या दोन अशाच्या खुणामधील पारदा य आहे विगोपित  
स्तम्भातील  $t_3$  या तापावरील पारदाची परिमा  $(स \times य)$  असून,



आ. ८-५

पारदाचा ताप  $t_2$  झाल्यास परिमेचे वर्धन [स. य.  $v_p (t_2 - t_1)$ ] इतके होईल. या पदसंहतीतील  $v_p$  हा पारदाचा वाचपासाठी ल प्रत्यक्ष विस्तार गुणक आहे. या वाढलेल्या परिमेने  $t^\circ$  पुढील छ असा संख्या व्यापल्याम,

$$छ \times ग = स. य. v_p (t_2 - t_1)$$

अथवा,

$$छ = स. य. v_p (t_2 - t_1)$$

म्हणून, तापमानाचें वास्तविक वाचन  $t_2$  असल्याम,

$$t_2 = t + छ$$

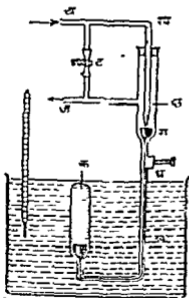
$$\therefore t_2 = t + स. य. v_p (t_2 - t_1)$$

वरील समीकारात वास्तविक ताप  $t_2$  आणि विभाषित तापमानाचे वाचन  $t$  या दोहोतील भेद अल्प असल्याने,

[स. व. प्र. (त<sub>२</sub> - त<sub>१</sub>)] या अल्प अदृष्ट्या राशीत त<sub>२</sub> च्या म्यानीं प्रत्यक्ष ताप त आदिष्ट वेळ्याम, परिपुढनेन विरोध हानि होत नाहीं. म्हणून,

$$t_2 = t + m. \text{ व. प्र. } (t - t_1)$$

थरील ममीकागच्या उजव्या पक्षातील शोषण दसंबिनाच्या [म. व. प्र. (त - त<sub>१</sub>)] या पदमंहीत 'विगोपित - स्तम्भ - शोषण' म्हणतात. विगोपित पाय्दस्तम्भाच्या मध्यपुढ्याम हुगच्या तापमानाचा बद मस्फनित ठेवून त<sub>१</sub> ची अर्हा निश्चित करतात हे वर मागितलेच आहे.



जा. ८-६

### घानिनियामक

(gas regulator)

अनेक शास्त्रीय प्रयोगात विशिष्ट ताप वराच वाठ स्थिर ठेवण्याची आवश्यकता असते ताप स्थिर ठेवण्यात उपयोगात आणलेल्या माघिनियाम तापस्याप (thermostat) ही मज्ञा आहे. ज्या तापनाचा ताप स्थिर ठेवावयाचा आहे त्यात तापस्याप ठेवून तापनाचा ताप दाहकाच्या साहाय्याने वाढवितान दाहकाच्या ज्योतीला मिळणारा दाहक वातोचा प्रवाह आहुनि ८-६ मध्ये

दशविलेख्या वाति नियामकाने (gas regulator) योग्य प्रमाणात पुरविला जातो. या वातिनियामकाचा क हा कन्द लाव आणि मोठा असून विरालेन्थाने (toluene) पूर्णपणे भरलेला असतो. ख या निरुद नळीत पारद असून या पारदाचा ग भुक्तपृष्ठ, क मधील विरालेन्थ्याच्या परिमा-परिवर्तनाने वर खाली सरकू शकतो. तसेच घ या मळमूत्राने पारदाचा ग पृष्ठ वरखाली सरकविता येतो. ज, ख मार्गे येणारा दाहक वाति छ या विचोळणा टोकातून वाहेर पडून, ज मार्गे तापनाच्या दाहकात जातो. दाहकाच्या ज्योतीला योग्य प्रमाणात वाति मिळावा यासाठी वाति नियामकाची योजना वेदेली असते

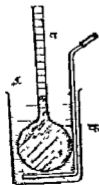
तापनाचा ताप वाढताना, क बन्दाचाहि ताप वाढून त्यातील विरालेन्थ्याचे विस्तरण होते. त्यायोगे ख मधील पारद, वर ढकलला जाऊन ग पारदपृष्ठ वर सरकल्याने, छ द्वारे वाति येणे थावते या स्थितीत दाहकाला वाति न मिळाल्यामुळे ज्योत विझून, तापनाचा ताप जास्त वाढत नाही. अशा रीतीने ज्योत विझल्यावर ती पुनः पेटविण्याची आणि रथाकरता सतत लक्ष ठेवण्याची अडचण टाळण्याकरता या वातिनियामकाला ट ही सकोण छिद्राची नळी असते. वातीचा छ येथील मार्ग बंद झाल्यावर ज्योत लहान होऊन जळत राहण्याइतका वाति ट या उपभागाने दाहवाला मिळतो. तापनाचा ताप स्थिर झाल्यावर, विविरण (radiation) आणि न्युट्रहन यांच्याद्वारे (convection) उष्माहानि झाल्यामुळे तापनाचा ताप न्यून होतो. आणि यामुळे क मधील विरालेन्थ्याचे सकोचन होऊन ग पारदपृष्ठ खाली सरकतो अर्थातच छ मार्ग मोवळा झाल्याने, दाहकान पुष्कळसा वाति येतो आणि त्याची मन्द जळणारी ज्योत मोठी होते.

तापस्थाय एखाद्या इष्ट तापावर स्थिर ठेवावयाचा असल्यास, तापनाचा ताप जेव्हा त्या इष्ट तापावर येतो तेव्हा घ मळमूत्राने,

य पारद पुच्छ इन्डोब बर तरबबून, छ मार्ग जेम्नेम बर होईल अमे करावे.

## पाण्याचें अनियमित विस्तरण आणि पाण्याची महत्तम घनता

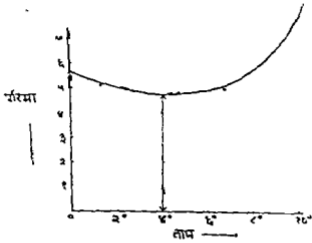
तराच्या परिमा विस्तरणाच्या अभ्यासांत असे दिवून आले आहे की, सामान्यतः तराच्या विस्तार-गुणवाची अर्हा निरनिराळ्या तापक्षेत्रात भिन्न असते. म्हणजे तापवर्धनात तराच्या परिमेचे वर्धन भिन्न तापक्षेत्रात साग्न्याच प्रमाणात होत नाही. पाण्याच्या परिमापरिवर्तनांतील अनियमितपणा पुढील साध्या सपरीक्षेने अभ्यासता येतो. आकृति ८-७ मध्ये दर्शविलेल्या प या अक्षिण पात्रात उबवून निवलेले स्वच्छ पाणी भरलेले असते. [उबळण्याने पाण्यातील विलीन (dissolved) वायु पाण्यातून बाहेर जातो आणि ते पाणी वायुरहित (free from air) होतें] प हें पात्र फ या दुमच्या मोठ्या पात्रात ठेवतात मोठ्या पात्रातील पाण्यात थोडा थोडा हिम मिसळून त्यातील पाण्याचा ताप कोष्ठतापापामून  $0^{\circ}$  श पर्यंत हलके हलके



आ. ८-७

न्यून करतात. तापवाचन घेण्याकरता प पात्राच्या शेजारी फ पात्रात पारदनापमान ठेवलेले असत तापमानाचे वाचन घेऊन त्याचवेळी प पात्रातील पाण्याचे परिमावाचनहि घेतात. धर्मी अनेक वाचन घेऊन परिमावाचन आणि त्याचवेळी तापवाचन याचा विन्दुरेख काढतात (आकृति ८-८ पाहा) विन्दुरेखेवरून असे दिवून येते की, कोष्ठतापावरून, जवळ जवळ  $4^{\circ}$  श पर्यंत ताप न्यून होत असताना



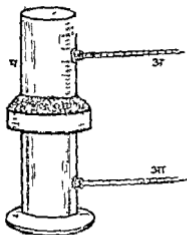


आ C-C

पाण्याचे सकोचन होत जाते ४°श घामून ०°श. पर्यंत ताप न्यून होताना पाण्याच्या परिमेचे विस्तरण होते यावरून स्थूलमानाने ४° श ताप अमत्ताना, विशिष्ट पुजाच्या पाण्याची परिमा अल्प असल्याने यातावावर पाण्याची घनता महत्तम अमने हे लक्षात येईल या सररोक्षेन पात्राच्या धारितेत परिवर्तन होत असल्याने पाण्याच्या परिमा-निश्चयनात योग्य तो परिशुद्धता पाधणे कठिण अमत्त परिमेच्या प्रत्यक्ष-वाचनाचा उपयोग न करता दुसऱ्या अन्व रीतीने पाण्याच्या महत्तम घनतेचा ताप पुढीलप्रमाणे निश्चिन करता येतो

### होपचे साधित्र (Hope's apparatus)

य या रम्भाकार काच पात्रान कोष्ठतामावरील स्वच्छ फाणी भरतात. पात्रातील अनुक्रमे वरच्या आणि मालच्या भागातील पाण्याचा ताप अ आणि आ या तापमानाच्या वाचनाने समजतो. (आकृति C-९ पाहा) या रम्भाच्या मध्यभागाभोवती घातूचे पात्र बसविलेले असून, या घातुपात्रात मोठ आणि हिम याच मिश्रण

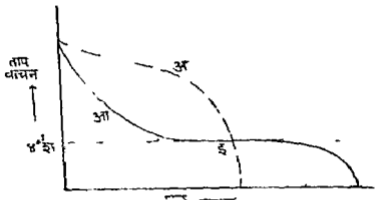


आ ८-९

भरलेले अमते या मिश्रणाने रम्भपात्रातील पाणी शीत होतांना सक्रीचन पावून त्याची घनता वाढने म्हणून हे शीत पाणी पच्यात जाशी जाते यामुळे, आतापमानाचे वाचन कोष्ठतापावरून न्यून होऊ लागते नंतर अ चें तापवाचन न्यून होऊ लागते जसा रीतीने तापमानाचा ताप न्यून होत होत बाही वेळाने त्याचे तापवाचन  $4^{\circ}\text{C}$  पर्यंत येते यानंतर केवळ अ तापमानाचाच

ताप  $4^{\circ}\text{C}$  पेक्षा न्यून होत जाऊन तो  $0^{\circ}\text{C}$  पर्यंत उतरतो

अ आणि आ या तापमानाची योग्य कालान्तराने घेतलेली वाचने रेखापत्रावर अकन करून त्याचे शीतन वक्र (cooling curves) काढल्यास त्यावरून असे दिसून येत की, हे वक्र इ बिन्दुत परस्परास छेदतात (आकृति ८-१० पाहा) शीत आणि हिम यांच्या मिश्रणाजवळील रम्भपात्राच्या भागातील पाण्याचा ताप इ या छेदन बिन्दूने दर्शविलेल्या तापपेक्षा न्यून माल्यास, या पाण्याची घनता आ जवळील पाण्याच्या घनतेपेक्षा न्यून हाऊन त पाणी प पात्रातील वरच्या भागातच राहते, यामुळे आ पेक्षा अ चा ताप बराबर न्यून होऊ लागतो इ बिन्दूने दर्शविलेल्या तापाची अर्हा  $4^{\circ}\text{C}$  आहे हे बिन्दुरेखेवरून दिसून येते म्हणून  $4^{\circ}\text{C}$  तापावर पाण्याची घनता महत्तम अमते



आ ८-१०

पाण्याच्या महत्तम घनतेची अर्हा सि घा, वा पद्धतीत १ घान्य प्रति घन मि. मा इतकी आहे

पाण्याच्या अनियमित परिमावर्धनाची घटना जीवसृष्टीच्या दृष्टीने महत्त्वाची आहे शीत कटिबंध आणि त्या जवळील प्रदेशांत हिवाळ्यातील वायुमण्डलिक अल्प तापाने जलाशय आणि समुद्र इत्यादीतील पाण्याचा ताप वरच अल्प होतो पृष्ठावरील पाण्याचा ताप अल्प होत असताना, पाण्याची परिमा सकोचित होऊन त्याची घनता वाढते आणि हे शीतपाणी जलाशयाच्या तळाशी जाते अशा गतीने जलाशयातील संपूर्ण पाण्याचा ताप ४° स. होतो पृष्ठभागावरील पाण्याचा ताप ४° स पेक्षा न्यून झाल्यास त्याची परिमा वाढल्याने घनता अल्प होऊन हे पाणी पृष्ठभागावरच राहते याप्रमाणे पाण्याचा पृष्ठाचा ताप ०° स होऊन ते गोठन व त्यावर हिमाचा जाड थर जमतो परंतु या हिमाच्या थराखाली पाणी ४° स तापावर तरल-

न्यतीनच अगते. यामुळे, जलानय आणि समुद्र याचे पृष्ठभाग गोठले तरी आंतील पाण्यांत वनस्पति आणि जलचर प्राणी जिवंत राहू शकतात.

### प्रश्न

(१) एका सान्द्राचा भार  $४२.७८०$  घान्य आहे आणि  $२०^{\circ}$  श तापावर त्याचा तरलांतोल भार  $३७.६८०$  घान्य आहे सान्द्र  $७०^{\circ}$  श. तापावरील तरलान वृद्धलेला अमत्ता त्याचा भार  $३७.७६५$  घान्य असल्याचे आढळते. सान्द्राचा अनुरेख विस्तार गुणक  $०.००००२$  असल्यास तरलाच्या सत्य विस्तार-गुणाचे गणन करा

(२) काचेच्या कोरड्या भार-मापमानाचा भार  $४०$  घान्य आहे  $०^{\circ}$  श तापावर त्यात पारद पूर्ण भरल्यानंतर त्याचा भार  $४९०$  घान्य होतो. भार-मापमान  $१००^{\circ}$  श पर्यंत तापविन्याने  $६.८५$  घान्य पारद बाहेर पडतो पारदाचा सत्य विस्तार गुणक  $०.०००१८२$  असल्यास काचेचा घन विस्तार-गुणक काढा. (पृष्ठ  $२१०$  वरील तळ टीपेतील समीकाराचा उपयोग करावा )

(३) एका मापपट्टीचे  $१५^{\circ}$  श वर अकन केलेले आहे. पट्टीच्या द्रव्याचा अनुरेख विस्तार गुणक  $०.००००२$  आहे मापपट्टीचा ताप  $३०^{\circ}$  श असताना तिच्या साहाय्याने घेतलेले पारद-स्तम्भाचे वाचन  $७६.००$  मि मा असल्यास पारदस्तम्भाची वास्तव उंची किती असावी ?

(४) पितळ आणि पारद याचे घन विस्तार-गुणक अनुक्रमे  $०.००००३६$  आणि  $०.०००१८६$  आहेत कोष्ठताप  $२०^{\circ}$  श असताना पापीडमानाचे वाचन  $७३.८$  मि मा आहे ह्या वाचनाचे  $०^{\circ}$  श तापावर शोधन करा

→ (५) तापमानात भरलेल्या पारदाचा प्रत्यक्ष विस्तारगुणक  $0.000955$  आहे. नळीवरील दोन लगतच्या अशामधील अंतर  $0.2$  शि. मा आहे. केशालनळीचा अनुप्रस्थ छेद  $0.0008$  वर्ग शि मा. असल्यास या तापमानाच्या कन्दाची धारिता काढा.

(६) काचेच्या भार-तापमानात  $0^{\circ}$  श. वर  $56$  स० धान्य पारद भरला आहे. काचेचा अनुरेख विस्तार गुणक  $0.000030$  आणि पारदाचा सत्य विस्तार गुणक  $0.000182$  आहे तर  $100^{\circ}$  श. तापावर भार-तापमान पूर्ण भरण्यास किती पारद लागेल ?

(७) सत्य आणि प्रत्यक्ष घन विस्तारातील भेद स्पष्ट करून या दोहोमधील सबंध दर्शविणारा समीकार सिद्ध करा

(८) (अ) तल विस्तार गुणकाची (coefficient of superficial expansion) अर्हा अनुरेख विस्तार गुणकाच्या अहोच्या दुप्पट असते हे सिद्ध करा.

(आ) ममायत्ताकाराच्या (square) एका पितळी पत्र्याच्या विकर्णाची लांबी  $0^{\circ}$  श तापावर  $20$  शि. मा. आहे.  $50^{\circ}$  श तापावर त्याच्या क्षेत्रफळाचे गणन करा (पितळेचा अनुरेख विस्तार गुणक  $= 0.000019$ )

## वाति-विस्तरण

**सा**न्द्र आणि तरल यांच्यावरील निपीडान सामान्य परिवर्तन झाल्यास परिमित होणार परिवर्तन तापवर्धनाने होणाऱ्या परिमा परिवर्तनापेक्षा अल्प असते. म्हणून सान्द्र आणि तरल यांच्या तापवर्धनाने होणाऱ्या परिमाविस्ताराच्या अभ्यासात निपीडाचा विचार बेला नाही परंतु निपीडाच्या सामान्य परिवर्तनानेहि होणारे वानोच परिमा-परिवर्तन उपेक्षणीय नसते सपरीक्षेवरून असे दिसून आले आहे की, (१) निपीड स्थिर ठेवून वातीचा ताप वाढविण्यास वातीची परिमा नियमित प्रमाणात वाढते तसेच (२) वातीचा ताप वाढवताना त्याची परिमा स्थिर ठेवण्यास त्या वातीवरील निपीडहि नियमित प्रमाणात वाढते

स्थिर निपीड असताना एका वातीच्या स्थिर पुजाची  $0^\circ$  श. तापावर परिमा  $पा_0$  असून  $t_1$  तापावर त्या वातीची परिमा  $पा_1$  असल्यास विस्तार गुणकाच्या व्याख्येनुसार,

$$\alpha = \frac{पा_1 - पा_0}{पा_0 \cdot t_1} \quad \dots \quad (स ९-१)$$

अथवा

$$पा_1 = पा_0 (१ + \alpha t_1) \quad \dots \quad (स ९-२)$$

$\alpha$  हा वातीचा 'स्थिर निपीडावरील परिमा विस्तार गुणक' आहे याला 'परिमानुणक' (volume coefficient) म्हणण्याचाहि

प्रघात आहे. चन्दाच मोठ्या तापक्षेत्रात वातीच्या परिमा गुणकाची अर्हा स्थूलमानाने स्थिर असते. तसेच ही अर्हा स्थिर निपीडाच्या अर्हेवर फारशी अवलंबून नसते. म्हणून परिमा गुणकाची अर्हा मागनांना स्थिर निपीडाच्या अर्हेचा उल्लेख करित नाहीत.

०° घ. तापावर पा<sub>०</sub> परिमा असलेल्या वातीच्या, स्थिर निपीडस्थितीत त<sub>१</sub> आणि त<sub>२</sub> या भिन्न तापावरील परिमा अनुक्रमे पा<sub>१</sub> आणि पा<sub>२</sub> असल्यास, समीकार ९-२ वरून,

$$पा_१ = पा_० (१ + अ. त_१)$$

आणि

$$पा_२ = पा_० (१ + अ. त_२)$$

$$\frac{पा_२}{पा_१} = \frac{१ + अ. त_२}{१ + अ. त_१} \dots \dots \dots \text{स. ९-३}$$

वातीचा परिमा गुणक अल्प नसल्याने (पृष्ठ २३३-२४ वरील मारणा पाहा) अ त<sub>२</sub> इत्यादि राशी अल्प नाहीत म्हणून,

$$पा_२ (१ + अ. त_१) = पा_१ (१ + अ. त_२)$$

$$\frac{पा_२ - पा_१}{पा_१} = \frac{अ. त_२ - अ. त_१}{१ + अ. त_१} \dots \dots \dots \text{स. ९-४}$$

वरील समीकाराच्या डाव्यापक्षाच्या पदसहतीतील राशीचे संपरीक्षाद्वारा मापन करून अ या परिमा गुणकाचे निश्चयन करता येते

प्रयोगशालेत पुढीलप्रमाणे वातीच्या परिमा गुणकाचे निश्चयन करतात वाचेच्या चवट्या तोडाला सिद्धिपीड (pinch-cock)



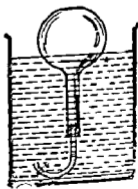
आ ९-१ (अ)

लावलेली एक घुपिनट्टी (rubber tube) बसविलेली असते आकृति ९-१ अ पाहा. चंबू कोरडा करून त्याचा (भा) भार निश्चित करतात. नंतर नळीचे उघडें तोड पाण्याच्या पृष्ठभागाच्या थोडें वर ठेवून हा चंबू जलतापमान ठेवतात. तापनाचा (त<sub>१</sub>) इष्ट ताप स्थिर झाल्यावर, (सामान्यतः प्रयोगशाळेंत हा ताप उबळत्या पाण्याचा घेतात.) घुपिनट्टीचे तोंड गिनिपीडानें बंद करून चंबू तापमान काढून घेतात. चंबू निवून कोष्ठतापावर आल्यावर कोष्ठतापासमान ताप असलेल्या रूद पात्रातील

पाण्यात चंबूचे तोंड बुडवून गिनिपीड काढून घेतात. यामुळे च पात्रातील पाणी घुपि नळीतून चंबूत शिरते. चंबूतील पाणी आणि च पात्रातील पाणी याचा पृष्ठभाग समान होईल इतका चंबू पाण्यात बुडवितात. आकृति ९-१ (आ) पाहा. या स्थितीत घुपिनट्टीवरील गिनिपीड पूर्वावत् बंद करून चंबू पात्राच्या बाहेर काढतात.

चंबू बाहेरून कोरडा करून त्यातील पाण्यासह त्याचा (भा<sub>१</sub>) भार निश्चित करतात. यानंतर कोष्ठतापावरील पाणी चंबूत पूर्ण नरून, चंबूचा (भा<sub>२</sub>) भार निश्चित करतात त, कोष्ठतापावरील पाण्याची

घनता घ असल्यास,  $\left\{ \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{\text{घ}} \right\}$



आ ९-१ (आ)

ही चंबूची कोष्ठतापावरील धारिता आहे चंबू निवून पाण्यात बुडविल्यानंतर



त्यात शिरलेल्या पाण्याची परिमा  $\left\{ \frac{\text{भा}_1 - \text{भा}}{\text{घ}} \right\}$  इतकी आहे.  
 यावरून तापनाचा  $t_2$  ताप असताना चवूची पूर्ण परिमा व्यापणाऱ्या  
 वायूची  $t_1$  कोष्ठतापावरील परिमा,

$$\begin{aligned} \text{पा}_1 &= \left[ \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}}{\text{घ}} - \frac{\text{भा}_1 - \text{भा}}{\text{घ}} \right] \\ &= \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{\text{घ}} \end{aligned}$$

जलतापनाचा ताप  $t_2$  असताना हाच वायू चवूची पूर्ण  
 परिमा व्यापतो. पात्राच्या धारितेचे विस्तरण वाति-विस्तरणाच्या  
 मानाने उपेक्ष्य असल्याने, या वायूची  $t_2$  तापावरील परिमा,

$$\begin{aligned} \text{पा}_2 &= \text{चवूची पूर्ण धारिता} \\ &= \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}}{\text{घ}} \end{aligned}$$

समीकार ९-३ अंनुसार,

$$\frac{\text{पा}_1}{1 + \alpha t_1} = \frac{\text{पा}_2}{1 + \alpha t_2}$$

घरील सभोवारात  $\text{पा}_1$  आणि  $\text{पा}_2$  यांच्या भार आणि घनता  
 यांनी वर दर्शविलेल्या अर्हा आदिष्ट करून,

$$\frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{\varphi} = \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{\varphi} \cdot \frac{1 + \alpha \cdot t_1}{1 + \alpha \cdot t_2}$$

$$\therefore \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{1 + \alpha \cdot t_1} = \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{1 + \alpha \cdot t_2}$$

वरील समीकारावरून वायूच्या परिमा-गुणकाची अर्हा गणन करता येते, नीच ताप  $t_1$  न घेता  $0^\circ \text{C}$ . हा नीच ताप योजल्यास, \*

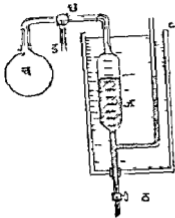
$$\text{भा}_2 - \text{भा}_1 = \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{1 + \alpha \cdot t_2}$$

$$\therefore \alpha = \frac{\text{भा}_2 - \text{भा}_1}{(\text{भा}_2 - \text{भा}_1) \times t_2}$$

### रेनॉय् स्टियर निपीडोप्म साधित्र (Regnault's apparatus)

रेनॉय् योजलेल्या स्थिर निपीडोप्म साधित्राने वातीच्या परिमा गुणकाचे निश्चयन जास्त परिशुद्धतेने करता येते. आकृति ९-२ मध्ये दर्शविण्याप्रमाणे एका वेद्यालनलिवेने या साधित्राचा च बन्द-ज या रुद नळीला जोडलेला असतो.  $0^\circ \text{C}$ . तापावर च कन्दात पारद भरून पारदाच्या मार निश्चयनाने कन्दाची  $0^\circ \text{C}$  तापा,

\* नीच ताप शक्यतोवर  $0^\circ \text{C}$  असावा कारण या अल्प तापावर प्रवाण निपीड (vapour pressure of water) अन्य असल्याने ते उपेक्ष्य असतं म्हणून चव्नील आणि वाहेरीक पात्राच्या पाण्याचा पृष्ठ समान तलात असताना, चव्नील निवलेल्या वायूचे निपीड वायुमण्डलीय निपीडाएवढेच असतं असे मानता येते



आ १-०

वरील पारिता (पा. गणन केलेली असते ज या रद नळीवर ०° श तापावर परिमेचे अकन केलेल असते छ या त्रिमार्ग-पिधेन (threeway cock) च आणि ज यातील नलिकामार्ग पाहिजे तेव्हा उघडता अयवा बद करता येतो प्रथम छ उघडून ट नळीत पुरेसा पारद ओतून, ज नळी पारदाने पूर्ण भरतात (अर्थात् ठ तोटी यावेळी बद असते) नंतर छ पिधा योग्य रीतीन फिरवून

च आणि ज याचा मध्य तोडून च कन्द आणि ड नळी याचा सबंध जोडतात या स्थितीत ड या आखड नळीला चूपोदक जोडून च मधील वायु काढून घेतात यानंतर, च मध्ये कोरडा केलेला परीक्ष्य वाति भरून च आणि डचा सबंध तोडतात (ही चूपण आणि भरण निया आळीपाळीने केल्यास, च कन्दामधील परीक्ष्य वानीत कदांतील पहिल्या वायूचा अरुपागहि रहात नाही) नंतर च कन्द हिमशीत जलात ठेवून, छ द्वारा च आणि ज याचा सबंध पुन जाडतात या स्थितीत ज नळीतील पारदपृष्ठ परिमच्या ० सुणेपर्यंत आणण्याकरता अवश्य तर ट मध्ये जास्त पारद आततात, किंवा ठ तोटीद्वारे जास्त असलेला पारद काढून घेतात परीक्ष्य वातीची ०° श वरील पा. परिमा च कन्दाच्या धारितेइतकी आहे हे लक्षात येईल ज आणि ट नळ्यातील पारदस्तम्भाची वाचनें आणि वापीडमानाच वाचन यावरून परीक्ष्य वातीच्या निपीडाचे गणन करतात यत (सत्रप

असल्यास ज आणि ट यातील पारदपृष्ठ एकाच तलात असावेत. अशा स्थितीत वापीडमानाचे वाचन परीक्ष्य वातीचे निपीड दर्शविते.)

जलतापनाच्या उकळत्या पाण्यात च कन्द ठेवल्यास, त्यातील परीक्ष्य वातीची परिमा वाढून काही वाति ज या रुंद नळीत येतो. जलतापनाचा (त) उच्च ताप स्थिर झाल्यावर च आणि ज मधील वातीचे निपीड पूर्ववत् ठेवण्याकरता, ठ तोंडी उघडून, रत्यातून ज मधील पुरेसा पारद बाहेर जाऊ देतात. अशा रीतीने वातीचे निपीड पूर्ववत् झाल्यानंतर, ज मधील पारदपृष्ठ (प) या परिमा अंकनावर असल्यास, परीक्ष्य वातीची त° स. तापावरील परिमा,

$$पा = पा_0 + प$$

यात पा\_0 ही च कदाची ०° स. वरील धारिता असून तापवर्धनाने धारितेचे होणारे वर्धन उपेक्ष्य मानले आहे. वातीच्या परिमा-विस्तारा सबधीच्या सूत्रानुसार (स. ९-० पाहा),

$$पा = पा_0 (१ + अ. त)$$

या समीकारात पा ची वरील अर्हा आदिष्ट करून,

$$पा_0 + प = पा_0 (१ + अ. त)$$

$$अ = \frac{प}{पा_0 \times त}$$

$$= \frac{\text{परिमावर्धन}}{०^{\circ} \text{ स. वरील वातीची परिमा} \times \text{तापवर्धन}}$$

या सूत्राने वातीच्या विस्तारगुणकाच्या अ अह्च गणन करता येने वरील रीतीन ज नळीतील वातीचा ताप व वन्दातील वातीच्या तापाइतवा नमल्यामुळे परिमा-गुणकाची अर्हा पुरेशी परिसुद्ध नसते

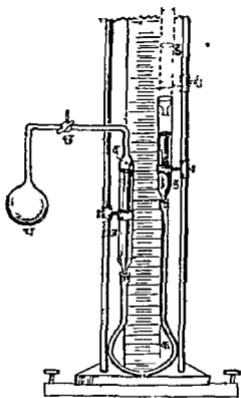
### निपीड-गुणक (pressure coefficient)

वातीचा ताप वाढत असतह, रूपावरील निपीड योग्य प्रमाणात वाढवून वातीची परिमा स्थिर ठेवता येते. या निपीडपरिवर्तनाच्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की, हे निपीडपरिवर्तन नियमित असते. म्हणून स्थिर परिमा असलेल्या वातीचे ०° स. आणि १०° स. तापावरील निपीड अनुक्रमे ना० आणि ना असल्यास,

$$\frac{ना - ना०}{ना० \times त} = आ$$

आ या राशीला 'वातीच्या स्थिरपरिमा स्थितीतील निपीड विस्तार-गुणक' म्हणतात. (आ) राशीला निपीडगुणक म्हणण्याचाहि प्रमाण आहे जालीने घोजलेल्या साधित्राने स्थिरपरिमेवरील वातीच्या निपीडविस्तार-गुणकाचे निदर्शन घुडीलप्रमाणे करतात

य हा वाचेपा बन्द बेशालनपिनेने ज या मोठ्या नळीस जोडलेला असतो आरुति ९-३ पाहा ज च्या वरच्या टोकाला द ही एक देसना (pointer) असने निपीड वाचनात पारदापा पृष्ठ या देसनेला स्पर्शित ठेवल्याने व मधील वातीची परिमा स्थिर राहून (वाति विस्तरणाच्या मानाने वाचेच्या पात्राच्या भारितेची वाड अन्य अगल्याने ही वाड लक्षात घेत नाहीत) ज च्या तापच्या टोकाला व ही घुडिाळी असून, घुडितळीच्या दुमच्या टाकावरील द या रूभावार वाचपत्रातून या साधित्रांत पारद भरता येतो



आ ९-३

छ या त्रिमार्ग-विधेच्या साहाय्याने च आणि द याचा सबंध ताडून च मधाले वायू संपोदवाने वाडून त्यात पर्येक्ष्य कार्बो वाति भरतान हिमरीत जगत च कन्द ठेवून, ताप स्थिर चाल्यावर च आणि द याचा सबंध पुन जोडनात ह पात्र योग्य गीनीत वर अथवा पार्श्व सक्कून, ज मधील पारदाचा पृष्ठ द देणनेला म्पडित

करतात. या स्थितीत परीक्ष्य वातीचे  $0^{\circ}$  न. वरील निपीड ना ने दर्शविल्यास,

ना<sub>०</sub> = वापीडमानाचे वाचन + ड मधील पारदपृष्ठाची द देशनेपासून मापलेली उंची (न<sub>०</sub>)

यावहन, योग्य मापनाने ना<sub>०</sub> ची अर्हा समजते.

उकळत्या पाण्यांत व कन्द ठेवून त<sup>०</sup> स. ताप स्थिर झाल्यावर ड पात्र पूर्वीपेक्षा जास्त वर उचलतात आणि ड पात्र ड' स्थितीत आणून ज मधील पारद पृष्ठ द शी पुनः स्पर्शित करतात. उच्च तापावर वातीची परिमा पूर्ववत् अमून या स्थितीतील वातीच्या ना निपीडाचे गणन पुढीलप्रमाणे करतात.

ना = वापीडमानाचे वाचन + ड' मधील पारद पृष्ठाची द पासून मापलेली उंची, (न)

$\frac{\text{ना} - \text{ना}_0}{\text{ना}_0 \cdot \text{त}}$  या पदसहस्रीत ना<sub>०</sub>, ना आणि त याच्या अर्हां आदिष्ट करून, धा या निपीडगुणकाचे गणन करतात.

बऱ्याच मोठ्या तापक्षेत्रात वातीच्या परिमा विस्तार-गुणका-प्रमाणेच वातीच्या निपीडगुणकाची अर्हा स्थिर असते. काही वातीचे परिमागुणक आणि निपीडगुणक खाली दिलेले आहेत

वाति	परिमागुणक	निपीडगुणक
उद्जन (hydrogen)	०.००३६६०९	०.००३६६२१
यानाति (helium)	०.००३६६९	०.००३६६०४
भूपाति (nitrogen)	०.००३६७४२	०.००३६७४०

वाति	परिमाणुगुणक	निर्पीडगुणक
जारक (oxygen)	०.००४२६	०.००३६७३८
वायु (air)	०.००३६७१	०.००३६६५०
प्रांगार द्विजारेय (CO <sub>2</sub> )	०.००३५६०२	०.००३०३३५
सुल्वारि द्विजारेय (SO <sub>2</sub> )	०.००३९.०३	०.००३८४५

वातीच्या परिमा विस्ताराचा अभ्यास प्रथम गेलुसक (Gay Lussac) ह्या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने केला. चार्लम् (Charles) या फ्रेंच रसायन शास्त्रज्ञाने परिमा विस्ताराचा जास्त अभ्यास केला आणि या अभ्यासाचा निष्कर्ष पुढील नियमाने दर्शविला; 'वातीचे परिमा

गुणक समान असून या गुणकाची अर्हा  $\frac{1}{273}$  (अथवा ०.००३६६)

इतकी आहे' या नियमाने चार्लम्च्या 'परिमा-विस्तार नियम' म्हणतात. सारणीतील परिमाणुगुणकाच्या अर्हा पाहिल्यास असे दिसून येते की, सारणीतील कोणत्याही वातीच्या परिमाणुगुणकाची अर्हा ०.००३६६ इतकी नाही. तथापि, लड्जन, यानाति, जारक, भूयाति इत्यादि वातीच्या परिमा गुणकाची अर्हा जवळ जवळ ०.००३६६ इतकी आहे. तसेच योग्य मपरोक्षेवमन हेहि दिसून आले आहे की, वरील वातीचा ताप स्थिर असताना त्याचा परिमा-निर्पीट-संबंध, बॉईलच्या म. ता. प. नि. नियमाने बऱ्याच परिशुद्धतेने दर्शविता येतो.

वातीची परिमा, त्याचे निर्देश आणि ताप यांचे परस्पर संबंध बऱ्याच तापमपदिनयेंत बॉईलच्या म. ता. प. नि. नियमाने आणि चार्लम्च्या परिमा विस्तार नियमाने परिशुद्धतेने दर्शविता आल्यास, त्या वातीला 'आदर्श वाति' (perfect gas) म्हणावे असा शक्य आहे.



उद्जन, यानाति इत्यादि कोणत्याहि वातीचे परिमापरिवर्तन अथवा निपीड-परिवर्तन तंतोतंत आदर्श वाति प्रमाणे होत नाही; (सारणी पाहा). उद्जन, यानाति इत्यादि वातीना आदर्श मानून चालंक्षच्या नियमाप्रमाणे गणन केलेले परिमापरिवर्तन आणि सपरीक्षात घडून येणारे त्याच वातीचे परिमापरिवर्तन ह्या दोहोंतील भेद फारच अल्प असतो म्हणून विस्तरणाच्या चर्चेत आणि गणनांत हे वाती आदर्श मानण्याचा प्रघात आहे.

प्रागार द्विजारेय (carbon dioxide), शुल्वारि द्विजारेय (sulphur-dioxide) या वातीच्या परिमाणुवाच्या अर्हां ०.००३६६ पेक्षा भिन्न आहेत हे वरील सारणीवरून लक्षात येईल. तथापि निपीड अल्प असताना, प्रागार द्विजारेय वगैरे सारख्या जास्त जटिल व्यूहाणु अमलेल्या वातींचेहि नापवर्धनाने होणारे परिमा-परिवर्तन स्पूलमानाने आदर्श वातीप्रमाणेच होते

### वाति-तापमान (gas thermometer)

वातीचा ताप वाडल्याने होणारे परिमावर्धन आणि निपीड-वर्धन सामान्यतः तरलाच्या परिमावर्धनापेक्षा जास्त नियमित असते; म्हणून तापमानात वाति यांजस्यास असा प्रकारच्या वाति-तापमानाने तापमान जास्त परिशुद्धनेने करता येईल. तापमानानातील परिशुद्धतेचा विचार केल्यास, परिमावर्धनाने ताप मापण्यापेक्षा स्थिर परिमेवरील निपीडवर्धनाने ताप मापणे, शास्त्रीय दृष्ट्या परिशुद्ध ठरते कारण आकृति ९-३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे च आणि ज मधील वातीचा ताप भिन्न असल्याने, परिमावर्धनाने ताप मापणे नितोमे परिशुद्ध नसते.

### प्रमाण वाति-तापमान

### (standard gas thermometer)

मागोळ परिच्छेदन यंत्रेच्या मॉलीच्या साधनाचा

वातितापमाना प्रमाणे उपयोग करता येईल. परंतु वातितापमानाचा मुख्य उपयोग प्रमाप तापमान म्हणून करावयाचा असल्यास, जॉलीच्या साधनातून वऱ्याच मुधारणा करणे अवश्य आहे. आहुति १-४ मध्ये दर्शविण्यात आलेल्या तापमान न या मुधारणा योजण्या आहेत

वातितापमानाचा च क्वद महानु आणि घनानु (iridium) याच्या मिश्रानुचा केलेला असल्याने, तापपरिवर्तनात या क्वदाची परिमा जवळ जवळ अचलच असते. उ हे रम्भपात्र वर किंवा माली तरावून पारदाचा पृष्ठ द देगनेला स्थिति ठेवतात. उ या रम्भ पात्रातील पारदात बुडलेल्या फ नळीतील पारदम्भ वायुमण्डलीय निपीट दर्शविता. निपीट वाचनाच्या सोयीकरिता फ नळीचा वरचा व भाग द देगनेच्या वर लम्ब रेषेत येईल अशा रीतीने फ नळी वाकविल्याने असत द आणि फ मधील पारदपृष्ठातील अंतर, तापमानाच्या च क्वदातील वातीचे निपीट दर्शविते. हे अंतर उच्च-मानाने (cathetometer) मापतात. यामुळे वातीडमानाचे स्वतंत्र वाचन घेण्याचे कारण उरत नाही

### वाति तापमानांतील विभ्रम

फ जवळील पारदतापमानाने या पारदम्भमाचा ताप ममजती-जावळून वरील पारदम्भमाच्या वाचनाचे शोधन करता येते. त्याचप्रमाणे तापवर्धनाने आणि त्याबरोबरच क्वदांतील वातीच्या निपीटवर्धनाने, या तापमानाच्या च क्वदाची धारिता धोडी वाढत असत क केमालनलिक्नेतील वातीचा ताप, च क्वदातील वातीपक्षा थोडा मिश्र असतो उच्च तापमानाने वरील म्भमता साध्यावयाची असल्यास, वरील विभ्रम लक्षान घेऊन योग्य साधन करणे अवश्य असत  $५००^{\circ}$  या पर्यंत तापमापन करण्यास, उद्भजन वातीचा उपयोग करतात. या पृष्ठील तापमापनात  $१०००^{\circ}$  या



पर्यंत तापमापन करण्यास, भूयाति उपयोगात आणतात. कारण, उच्चतापावर धानुपाश्चात्तून उद्भवन थोडा प्रसृत होतो. तसेच अल्पताप मापण्यास यानात्रिका उपयोग करतात. कारण यानात्रिका तरलन-ताप (temperature of liquefaction) अत्यल्प आहे.

वात्रितापमानाचा उपयोग केल्याने, पृथ्वीला लाभ होतात.

(१) वातीचा निमीडगुणक हा तरलाच्या परिमाणुणकापेक्षा बराच मोठा असल्याने, तापपरिवर्तन जरी अल्प झाले, तरी वातीच्या निमीडात बरेच परिवर्तन होते. म्हणून तापपरिवर्तन अल्प असते तरी त्याचे मापन करता येते. दुसऱ्या शब्दात सांगायचे म्हणजे तरलतापमानापेक्षा वात्रितापमान जास्त हूप असते.

(२) वात्रितापमानाचे तापक्षेत्र (range) तरलतापमानाच्या ताप-क्षेत्रापेक्षा बरेच मोठे असते. उदाहरणार्थ पारदतापमान  $-३५^{\circ}$  स. पानून  $२५.०^{\circ}$  स इतक्या तापमर्यादित उपयोगी पडते. परंतु वात्रि तापमानात यानात्रि अथवा उद्भवन याच्या उपयोग केल्यास  $-०.००^{\circ}$  स. पानून बऱ्याच उच्चतापापर्यंत ताप मापन करणे शक्य होते.

(३) सामान्यतः वातीचा निमीडगुणक  $\frac{1}{203}$  इतका

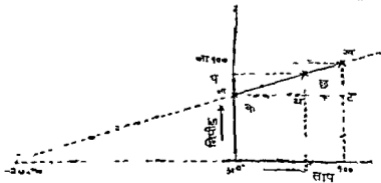
असल्यामुळे निरनिराळे वात्रि योजून घेतलेल्या तापमानाच्या मात्र वाचनाने फारसा भेद दिसत नाही

वात्रितापमान एका स्थळ्याहून दुसऱ्या स्थळी नेणे बरेच गैरसोपीचे असते. त्याचा वाकारहि मोठा असल्याने अन्वेषनामील (research) तापमापनाकरता याचा प्रत्यक्ष उपयोग करित नाहीत. प्रमाण वात्रि-तापमान आणि पारदतापमान एकाच तापनात ठेवून, अनेक भिन्न तापावर वात्रि-तापमानाचे

वाचन आणि पारदतापमानाचे सवादी वाचन सारणीत नोंदतात. या सारणीवरून प्रकरण ६ मध्ये सांगितल्याप्रमाणे शोधन विन्दुरेख काढतात अन्वेषण कार्यातील तापवाचनात वरील पारदतापमान आणि त्याचा शोधन विन्दुरेख याचा उपयोग करून, परिशुद्ध तापाचे गणन करतात

### वाति-तापमानाने इष्ट तापगणन करण्याची रीति

स्थिर परिमा असलेल्या वातीच्या निपीडमापनाने तापाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात.  $0^{\circ}$  श आणि  $100^{\circ}$  श. (७६ सि. मा निपीडाखाली उकळणाऱ्या पाण्याच्या वाष्पाचा ताप) या दोन भिन्न तापावर सापमानातील वातीच्या निपीडाचे परिशुद्ध निश्चयन प्रथम करतात ताप आणि निपीड याचे विन्दुरेखपत्रावर अंकन करतात.  $0^{\circ}$  श ताप आणि ना. निपीड दशविंगारा रु विन्दु, समेच  $100^{\circ}$  श ताप आणि ना. निपीड दशविंगारा ख विन्दु या दोहोना साधणारी सरळ रेषा काढतात. आवृत्ति ९-५ पाहा ज्या तापनाचा ताप गणन करावयाचा असेल, त्यात वातितापमानाचा कन्द ठेवतात इष्टताप स्थिर सान्ध्यावर वातीची परिमा स्थिर ठेवण्याकरता



आ. ९-५

योग्य निपीडाची योजना करून हें निपीड (ना) मापतात निपीड अशावरील च विन्दूने ना निपीड दर्शवून, या विन्दूतून ताप अक्षाला समान्तर रेषा काढतात ही रेषा क्व विन्दूरेषला छ येथे छेदते तापअक्षाला छ मधून छथत ही लव र्या काढल्यास त विन्दूने दर्शविलेला ताप हा वरील तापनाचा इष्ट ताप अमता या तापगणन रीतीची गणितीय उपपत्ति पुढीलप्रमाणे आहे

आकृति ९-१ वरून अन्न दिशेला को,  $\Delta$  वस्तु आणि  $\Delta$  वस्तु  $\neq$  समकाल अमन्याने,

$$\frac{\text{घट}}{\text{कट}} = \frac{\text{छय}}{\text{कय}}$$

$$\frac{\text{ना}_{१००} - \text{ना}_{०}}{\text{त}_{१००} - ०} = \frac{\text{ना} - \text{ना}_{०}}{\text{त} - ०}$$

वरील परिच्छेदान सांगितलेली तापगणनाची विन्दुरखीय रीति या समीकारावर अवलंबून आहे आणि हा समीकार वातीच्या निपाडवर्षनासबधी सत्य आहे हें पुढील विवचनावरून दिसून येईल

वरील समीकाराच्या कोणत्याही पक्षाकडाले पदसहतीची जहाँ ही  $0^{\circ}$  च तापावरील निपाड आणि त्या विशिष्ट तापमयदितील निपीडगुणक याच्या गुणनफलाइतकी आहे हें सहज ध्यानात येईल निपीडगुणकाचा अर्हो भिन्न भिन्न तापान्नावर भिन्न असून म्हणून शब्दी पत्राचा अर्हो समान आहे म्हणजेच वरील समीकार मत्त असून विन्दुरेखेवरून तापगणनाचा रीति गणितीय दृष्टीन घुड आहे क्व विन्दुरेखा अन्न आणि उच्च तापान्नावर याग्य रीतीने वाढवून अन्न आणि उच्च ताप गणन करणा यतान

प्रकेवल तापश्रेणी

(absolute scale of temperatures)

वातीचा ताप आणि निपीड यातील सबध दर्शविणारा समीकार पुढीलप्रमाणे लिहितात.

$$ना = ना_0 (१ + आ त)$$

आदर्श वातीचा निपीडगुणक  $\frac{१}{२७३}$  आहे. म्हणून वातीच्या त तापाची अर्हा - २७३° दा असल्यास,

$$\begin{aligned} ना &= ना_0 [ १ + ( \frac{१}{२७३} ) \times ( - २७३ ) ] \\ &= ना_0 ( १ - १ ) \\ &= ० \end{aligned}$$

म्हणजे स्थिर परिमेवर - २७३° दा ताप असताना आदर्श वातीचे निपीड शून्य होईल. - २७३° दा पेदा ताप न्यून झाला अशी कल्पना केल्यास, निपीड शून्यापेक्षा न्यून होण्याची शक्यता नाही म्हणून - २७३° दा. तापाखालील तापहानीचा प्रत्यय अशक्य कोटीतील आहे दुसऱ्या शब्दात मागावयाचे म्हणजे - २७३° दा. पर्यंतच न्यून तापाची प्रचिती येणे शक्य आहे या अर्थाने - २७३° दा तापाला 'प्रकेवल शून्य' (absolute zero) म्हणण्याचा प्रघात आहे आकृति ९-५ मधील विन्दुरेखेवरून हाच निष्कर्ष निघतो. जेथे विन्दुरेखे ताप अशाला - २७३° दा विन्दुवर छेदते असे आडखून येईल. या छेदनविन्दूने दर्शविलेले निपीड अर्थानेच शून्य असल्याने, छेदनविन्दूने दर्शविलेला - २७३° दा. ताप प्रकेवल शून्य मानतात.

आदर्श वातीच्या परिमा गुणकाची अर्हा  $\frac{१}{२७३}$  असल्यामुळे, स्थिर निपीडावरील वातीची - २७३° दा तापावरील परिमा,

$$P_A = P_A [ 1 + ( 273 \times -273 ) ] = P_A ( 1 - 1 ) = 0$$

यावरून असे दिसून येईल की, निपोंट स्थिर असल्यास  $-273^\circ$  स. तापावर आदर्श वातीची परिमा शून्य असते. यानुसार परिमा न्यून होणे शक्य नाही, म्हणून  $-273^\circ$  स. तापामाती तापमानाचा प्रत्यय येणे अशक्य आहे. आदर्श वातीचा उपयोग करून घेतलेले तापमानाचे वाचन  $-273^\circ$  स. तापाच्या खाली असू शकत नाही. म्हणून या तापाला 'प्रकेवल शून्य' म्हणण्याचा प्रघात आहे हे वर सांगितलेच आहे.

या प्रकेवल शून्य तापापासून तापमापन करण्याचा प्रघात आहे. या श्रेणीतील प्रत्येक अंशमागाची महत्ता (magnitude) सारक्या श्रेणीच्या एका अंश मागाच्या महत्तेइतकी असते. या तापश्रेणीला 'प्रकेवल तापश्रेणी' (absolute scale of temperatures) अशी संज्ञा आहे. सारक्या श्रेणीवरील  $t^\circ$  स. ताप आणि याच तापाचे प्रकेवल श्रेणीवरील तापवाचन  $T^\circ$  के या दोहोचा संबंध पुढीलप्रमाणे आहे.

$$T^\circ \text{ के } = ( 273 + t )^\circ \text{ स}$$

$100^\circ$  स. तापाचे प्रकेवल श्रेणीवरील वाचन  $373^\circ$  के. असे दर्शवितात आणि हिमद्रावाकाचा प्रकेवल श्रेणीवरील ताप  $273^\circ$  के. असा दर्शवितात.

सुष्टीतील कोणताही वाति उपयोगात आणून, वातित्वापमानाने  $-273^\circ$  स. तापाचा प्रत्यय येणे अशक्य असते, कारण उद्वजन आणि यानाति या वातीचे तरलताप (temperature of liquefaction) अनुक्रमे  $-253^\circ$  स. आणि  $-269^\circ$  स. असल्याने, ह्या वातीचा उपयोग करणे अशक्य आहे. कारण वातीचे तरलन झाल्यावर या तापमानाने तापमापन करता येत नाही यावरून,



-२३४° श तापाखालील ताप मापण्यास उद्जन वाति-तापमान निरूपयोगी असते हें रक्षात येईल तरलस्थितीतल्या यानातीच्या उद्धापनाने सरलाचा ताप - २७२° अथवा १° के. इतका न्यून करून यानाति सान्द्र स्थितीत आणता येतो समीप विचुम्बकनाने (adiabatic demagnetisation) ०.०५° के. इतक्या अल्पतर-तापाचा प्रयोगशाळेत प्रत्यय आलेला आहे. तरीहि प्रत्यक्ष ०° के. (-२७३° श.) तापाचा प्रत्यय येण्याची शक्यता आजहि वाटत नाही विशेष प्रकारच्या विद्युत्-रोधतापमानाने वातीचे तरलन ताप आणि इतर अल्प ताप मापतास

### वाति-समीकार (gas equation)

स्थिर तापावर वातीची परिमा आणि त्याचे निपीड याचा संबंध बॉईलच्या स ता प नि नियमाप्रमाणे राहिल्यास, आणि स्थिर निपीडावरील या वातीचे परिमा विस्तरण निमित्त असल्यास या वातीची परिमा, त्याचे निपीड आणि ताप याचा संबंध एका समीकाराने दाखविता येतो

समजा एका वातीची ०° श तापावरील परिमा आणि निपीड अनुक्रमे पा. आणि ना. अमून, त्याच पुजाच्या वातीची t° श तापावरील परिमा आणि निपीड अनुक्रमे पा आणि ना आहेत ०° श तापावरील या वातीच्या ना. निपीडाची अर्हा ना केल्याने या वातीची पा. परिमा पा' झाल्यास बॉईलच्या स ता प नि. नियमानुसार,

$$\text{ना. पा.} = \text{ना. पा}' \quad \dots \quad (१)$$

यानंतर ना निपीड स्थिर ठेवून, या वातीचा ताप ०° श पामून

तं श पर्यंत वाडवित्याने त्याची पा' पासून वाडलेली परिमा पा' असल्यास, चालंसाच्या वानि परिमा-वर्धन नियमानुसार,

$$पा'' = पा' ( १ + अ.त ) \quad \dots \quad \dots \quad (२)$$

समीकार (१) मधील पा' ची अर्हा समीकार (२) मध्ये आदिष्ट करून,

$$पा'' = \frac{ना. पा.}{ना} ( १ + अ.त )$$

$$\therefore ना पा'' = ना. पा. ( १ + अ.त )$$

तं श ताप आणि ना निरीड असताना ममान पुज अमलेल्या वातीच्या पा आणि पा'' अशा दोन निम्न निम्न परिमा असू शकत नाहीत

$$पा'' = पा$$

अर्थात्,

$$ना पा = ना. पा. ( १ + अ.त )$$

याव्दन त, तागावर याच वातीची परिमा आणि निरीड अनुक्रम पा<sub>१</sub> आणि ना<sub>१</sub> झाल्यास,

$$ना_१ पा_१ = ना. पा. ( १ + अ.त_१ )$$

तमथ त<sub>२</sub> तापावरील याच वातीच्या ना<sub>२</sub>, पा<sub>२</sub> याचा मगथ पुढील समीकाराने दर्शविता येतो

$$ना_२ पा_२ = ना_० पा_० (१ + अ. त_२)$$

म्हणून,

$$\frac{ना_१ पा_१}{१ + अ. त_१} = \frac{ना_२ पा_२}{१ + अ. त_२} = ना_० पा_० \dots \dots स ९-५.$$

वरील समीकाराला 'वाति-समीकार' म्हणतात वातीच्या एका स्थितीतील ताप, निपीड, परिमा ह्या माहीत असून त्याच्या दुसऱ्या स्थितीतील ताप, निपीड, परिमा या तीनपैकी कोणत्याहि दोन राशी माहीत असल्यास तिसऱ्या राशीचे गणन वाति-समीकाराच्या साहाय्याने करता येत वातीचा परिमा गुणक अ = ३७३ असल्यास,

$$\frac{ना_१ पा_१}{१ + ३७३ त_१} = \frac{ना_२ पा_२}{१ + ३७३ त_२} = ना_० पा_०$$

$$\frac{ना_१ पा_१}{२७३ + त_१} = \frac{ना_२ पा_२}{२७३ + त_२} = ना_० पा_०$$

अथवा,

$$\frac{ना_१ पा_१}{२७३ + त_१} = \frac{ना_२ पा_२}{२७३ + त_२} = \frac{ना_० पा_०}{२७३}$$

०° श, त\_१ श आणि त\_२ श. हे ताप प्रकेवल तापधेणीवर अनुक्रमे ता\_०, ता\_१ आणि ता\_२ ने दर्शविल्यास,

$$२७३ + त_१ = ता_१, २७३ + त_२ = ता_२, तसेच २७३ = ता_०$$

म्हणून, ३७३ इतका परिमा विस्तार गुणक असलेल्या आदर्श वातीचा वातिसमीकार,

$$\frac{P_1, P_2}{V_1, V_2} = \frac{P_2, P_1}{V_2, V_1} = \frac{P_1, P_2}{V_1, V_2} = \text{स्या...} \quad \text{स. ९ - ६}$$

०° स. ताप अतः ७६ मि. मा. पारदर्शकभावात् निरोद्धात् 'ऋजु वायुमण्डलोप नियोड' (normal atmospheric pressure) मान्याचा प्रघात आहे. वातीचा ताप ०° स. असून, त्याचें निरोड ऋजु वायु मण्डलोप निरोडाइतकें असतान, तो वाति ऋजुताप निरोड (normal temperature and pressure) अथवा ऋ. ता. नि. (N. T. P.) स्थितोच आहे असे म्हणतात. ऋ. ता. नि. स्थितोच वातीचो पा. परिमा त्याच्या पुत्राच्या प्रमाणात असते हें स्पष्ट आहे; म्हणून ममीकार १-६ मधील स्या चो बर्हो वातीच्या पुत्राचो अनुपात असते. वातीचा पुत्र १ घान्य व्यूहाणु (gram molecule) असल्यात, पा. =  $22.4 \times 10^3$  घ. मि. मा. म्हणून, वातीचा पुत्र १ घान्य व्यूहाणु असल्यात,

$$\text{स्या} = \frac{(22.4 \times 10^3) (76 \times 13.6 \times 980)}{273} \left\{ \begin{array}{l} \text{म्वाट्टित्वरण} \\ = \frac{980 \text{ मि. मा.}}{980} \\ \text{वाति} \end{array} \right.$$

$$= 6.32 \times 10^8 \text{ घम प्रति घतिकाम}$$

०° स. तापावरोळ  
पारदाचो घनता  
= १३.६ घान्य  
प्रति घन. मि. मा.

ऋ ता नि. वरोळ एक घान्य व्यूहाणु पुत्र असलेल्या वातीच्या स्या अर्हम वाति-म्यगस (gas constant) ही सजा आहे.

सोडवून दाखविलेल्या पुत्रील उदाहरणावरून वाति-ममीकाराचो उपयोग लक्षात घेईल,

उदाहरण—६०°श तापवर ९० घ सि मा परिमा असलेल्या वातीचे निपीड ७२० सि मा (पारदस्तम्भ) इतक आहे या वातीचे निपीड ७६० सि मा आणि ताप ३०°श असताना त्याची परिमा किती होईल ?

वातीच्या दोन्ही स्थितीत प्रकेवल ताप, निपीड आणि परिमा यांच्या अर्हा खालीलप्रमाणे आहेत

$$ता_२ = २७३^{\circ} + ६०^{\circ} = ३३३^{\circ}\text{के} \quad ता_१ = २७३ + ३० = ३०३^{\circ}\text{के}$$

$$ना_२ = ७२० \text{ सि मा} \quad ना_१ = ७६० \text{ सि मा}$$

$$पा_२ = ९० \text{ घ सि मा} \quad पा_१ = (\text{गणन करण्याची राशी})$$

$$\frac{ना_१ पा_१}{ता_१} = \frac{ना_२ पा_२}{ता_२} \quad \text{या वाति-समीकारात बरील अर्हा}$$

आदिष्ट केल्यास,

$$\frac{७६० \times पा_१}{३०३} = \frac{७२० \times ९०}{३३३}$$

$$पा_१ = \frac{३०३ \times ७२० \times ९०}{७६० \times ३३३}$$

$$= ७७.०३ \text{ घ सि मा}$$

प्रश्न

(१) आदेश वातीच्या परिमा-गुणकाची अर्हा त्याच्या निपीड गुणकाच्या अर्हेइतकी अमते हैं सिद्ध करा

(२) पुढील समीकार मिळ करा.

$$\frac{\text{ना. पा}}{\text{ना}} = \text{स्था}$$

ऋजुताप निपीडावर जारकाचा पुत्र ४ घान्य असल्यास या पुत्राच्या वानीकरता म्या चें गणन करा.

(३) प्रमाप उद्जन तापमानाचे वर्णन करा. पारद तापमाना-पेशा वाति तापमानाच्या उपयोगात विशेष लाभ कोणते आहेत ? तापमानावरता अचल परिमा आणि अचल निपीड वानि-तापमानांपैकी कोणते तापमान घ्याल ? तुमच्या उत्तराचे कारण स्पष्ट मागा.

(४)  $0^{\circ}$  स ताप आणि  $70$  सि. मा. निपीड असताना वातीची परिमा  $1740$  घ. सि. मा आहे.  $25^{\circ}$  स. ताप आणि  $75$  सि मा. निपीड असताना या वातीची परिमा किती होईल ?

(५)  $13^{\circ}$  स. तापावर वानीची परिमा  $44$  घ. सि. मा. असल्यास  $39^{\circ}$  स तापावर  $24$  घ सि मा. परिमा व्यापण्यास वातीचे निपीड दुप्पट असावयास पाहिजे हें गणन करून सिद्ध करा.

(६)  $00$  घ सि मा परिमा आणि  $320$  मि मा. निपीड असलेल्या वायूचा ताप  $60^{\circ}$  स पामून  $30^{\circ}$  स. पर्यंत न्यून करून त्या वायूचें निपीड  $760$  सि मा केल्यास वायूची परिमा किती होईल ?

(७) स  $0^{\circ}$  तापावर  $1000$  घ सि मा लानडाच्या कुत्रड्याचा मार प्रथम तुलेने निश्चित केला वायूचा विस्तार-गुणक  $0.00367$ , लोखटाचा रेन्वीस विस्तार-गुणक  $0.000017$  आणि  $0^{\circ}$  स तापावर  $1$  प्रथम वायूचा मार  $1.293$  घान्य असल्यास,  $100^{\circ}$  स. तापावरील ह्या कुत्रड्याच्या भारमापनात किती भेद होईल ?

प्रकरण १०

## उषमिति

ऊष्माराशि

**मागील** तीन प्रकरणात तापपरिवर्तनामुळे भूतद्रव्यावर होणाऱ्या विस्तरणाचा विचार केला या प्रकरणात ऊष्मा

ही भौतिकराशि असल्याने तिच्या मापनाविषयी विचार करू

भिन्न पुंज असलेले कोष्ठतापावरील पाणी दोन समान पात्रात ठेवून ती पात्रे एकाच दाहकाने  $100^{\circ}$  श पर्यंत तापविल्यास, जास्त पुंज असलेल्या पाण्याचा ताप वाढण्यास जास्त कालावधि लागल्याच दिमून येत अर्थातच या जास्त कालावधीत त्या पाण्याला अधिक ऊष्मा मिळाला असावा वर सांगितल्याप्रमाणे ऊष्माराशीची मात्रा यून अथवा अधिक प्रमाणात असणे सभवत, म्हणून ऊष्माराशि ही एक भौतिक राशि असून तिचे मापन करणे शक्य आहे असे अनुमान करता येत पाणी आणि पाण्याइतकाच पुंज असलेला दुसरा एखादा तरल दोन समान पात्रात घऊन पाणी आणि तरल याचा कोष्ठताप मापाचा दोन समान पुंज असलेल्या एकाच घातुद्रव्याच्या वस्तु एकाच उच्च तापापर्यंत तापनात तापवून पाण्यात एक आणि तरलात एक अशा सोडाच्या त्यानंतर विचालकान (stirrer) ढवळून पाणी आणि तरल याचे स्थिर उच्च ताप मापल्यास असे दिमून येईल की, तरलाचा उच्च ताप समान पुंज असलेल्या पाण्याच्या उच्च तापापेक्षा जास्त अमता या घटनेचा पुढीलप्रमाणे विचार करता येईल ताप (temperature) ही एका वस्तुपामून दुसऱ्या वस्तुस मिळणारी राशि आहे अशी कल्पना केल्यास चरील संपराक्षत तरलाचा ताप पाण्यापेक्षा जास्त वाढतो याचा अर्थ

पाण्यापेक्षा तरलास जास्त तापराशी मिळते असा करावा लागेल. या संपरीक्षेत एकाच धातूच्या समान पुज असलेल्या दोन वस्तूपासून समान परिस्थितीत पाण्यास आणि समान पुजाच्या तरलास भिन्न भिन्न तापराशि का मिळतात याचे समाधानकारक उत्तर मिळणे कठीण दिसते.

दोन समान पात्रात समान पुज असलेले कोष्ठतापावरील पाणी घेऊन त्यात समान पुज असलेल्या दोन भिन्न धातूच्या वस्तू समान उच्च तापावर तापवून एका धातुपात्रात एक आणि दुसऱ्या धातुपात्रात दुसरी अशी सोडल्यास दोन पात्रातील पाण्याचा वाढलेला ताप समान नसतो. ताप ही एका वस्तूपासून दुसऱ्या वस्तूस मिळणाऱ्या राशि आहे असे मानल्यास वरील संपरीक्षेत समान पुजाच्या पाण्यास समान परिस्थितीत समान तापराशी वा मिळू नये याचाहि उलगडा सहज होण्यासारखा दिसत नाही.

दोन भिन्न तापावरील वस्तूच्या सस्पर्शाने होणाऱ्या ताप परिवर्तनाचे समाधानकारक स्पष्टीकरण पुढीलप्रमाणे करता येते. भिन्न ताप असलेल्या दोन वस्तू सस्पर्शित असता जास्त उष्ण वस्तूपासून दुसऱ्या वस्तूस तापराशी मिळत नसून ऊष्मा मिळतो असे मानणे उचित ठरते.

पुढील उदाहरणाने उष्माराशीच्या देवघेवीची कल्पना जास्त स्पष्ट होईल. दान पात्रातील पाण्याच्या मुक्ता पुण्याची उंची समान नमल्यास या पात्राच्या योग्य जुळणीत जास्त उंचीवरून पाणी न्यून उंची असलेल्या पात्रात येते. या घटनेत पाण्याच्या उंचीची देवघेव न होना पाण्याची देवघेव होते. तद्वत, दोन असमान तापस्थितीतील वस्तू सस्पर्शित असता तापराशीची देवघेव न होता उष्माराशीची देवघेव होते आणि त्यामुळे वस्तूच्या तापान परिवर्तन होणे.



ऊष्माराशीच्या देवपेचीची कल्पना आता पूर्ण मान्य झालेली आहे. मा ऊष्माराशीच्या मापनातील एकक आणि ऊष्माराशीचे भिन्न प्रकाराने केलेले मापन इत्यादीचे विवरण या प्रकरणाने केले आहे.

### ऊष्माराशीचे एकक

ऊष्मामापनात ऊष्म्याचे एकक ठरविणे आवश्यक आहे. १ धान्य पुजाच्या पाण्याचा ताप १° स. वाढविण्यास लागणा या ऊष्माराशीत ऊष्मामापनाचे एकक मानले आहे. ऊष्म्याच्या या एककाम उप (calorie) ही संज्ञा आहे. १ धान्य पुजाच्या पाण्याचा ताप ४०° स. पासून ४१° स. पर्यंत अथवा ६५° स. पासून ६६° स. पर्यंत अथवा ९०° स. पासून ९१° स. पर्यंत वाढण्यास १ एकक ऊष्मा याचा लागेन असे अनुमान करता येईल योग्य आणि विस्तृत सपरीक्षाचा निष्कर्ष असा आहे की, १ धान्य पुजा असलेल्या पाण्याचा ताप ४०° स. पासून ४१° स. पर्यंत वाढविण्यास लागणारा ऊष्मा आणि त्याच पुजाच्या पाण्याचा ताप ९०° स. पासून ९१° स. पर्यंत वाढविण्यास लागणारा ऊष्मा या दोन ऊष्माराशीच्या अर्दा किचित् भिन्न आहेत. यावरून, १ धान्य पुजाच्या पाण्याचा ताप १ स. ने वाढविण्यास लागणाऱ्या ऊष्म्याची अर्दा पाण्याच्या प्रारम्भिक (initial) तापावर अल्प प्रमाणात अवलंबून आहे. आंतरराष्ट्रीय शास्त्रीय समितीने १ धान्य पुजाच्या पाण्याचा ताप १४.५° स. पासून १५.५° स. पर्यंत वाढविण्यास लागणाऱ्या ऊष्माराशीत ऊष्मामापनाचे एकक मानले आहे. ऊष्म्याच्या या एककास 'उप' (calorie) ही संज्ञा आहे.

ऊष्मामापनाच्या विवेचनात पाण्याचा प्रारम्भिक ताप कोणताहि असला, तरी १ उप ऊष्माराशीने १ धान्य पुजा असलेल्या पाण्याचा ताप १° स. ने वाढतो, त्याच प्रमाणे, १ धान्य पुजा

असलेल्या पाण्याच्या तापात  $1^{\circ}$  स. ने हानि झाल्यास, त्यातून  $1$  उष ऊष्माराशि बाहेर पडून ती समोवारच्या निकट वस्तूम मिळते असे मानले आहे.

### आपेक्षिक ऊष्मा (specific heat)

पु धान्य पुजाच्या वस्तूचा ताप  $t^{\circ}$  स ने वाढविण्यास लागणारी ऊष्माराशि आणि तितक्याच पुजाच्या पाण्याला समान तापवर्धनाकरता लागणारी ऊष्माराशि या दोहोंच्या निष्पत्तीला त्या वस्तूचा 'आपेक्षिक ऊष्मा' म्हणतात. या व्याख्येवरून पाण्याचा आपेक्षिक ऊष्मा  $1$  असतो हे लक्षात येईल. आपेक्षिक ऊष्माच्या वरील व्याख्येव्यतिरिक्त आणखी एक व्याख्या प्रमाण मानतात. वस्तूच्या  $1$  धान्य पुजाचा ताप  $1^{\circ}$  स. ने वाढविण्यास लागणाऱ्या उष एककाने मापलेल्या ऊष्माराशीस 'वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा' म्हणतात.

### तापीय धारिता (thermal capacity)

पु पुज असलेल्या द्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा  $u$  असल्यास वस्तूचा ताप  $1^{\circ}$  स. ने वाढविण्यास  $(पु \times u)$  इतके उष ऊष्मा द्यावा लागेल. तसेच या वस्तूचा ताप  $t^{\circ}$  स. ने वाढविण्यास या वस्तूस  $(पु \times u \times t)$  उष ऊष्मा द्यावा लागेल. त्याचप्रमाणे या वस्तूची  $t^{\circ}$  स ने तापहानि झाल्यास,  $(पु \times u \times t)$  उष ऊष्मा वस्तूतून बाहेर पडून इतर निकटवर्ति वस्तूस मिळेल.  $(पु \times u)$  या गुणनफलाइतक्या ऊष्माराशीस त्या वस्तुपुजाची 'तापीय धारिता' अशी सज्ञा आहे.

### आपेक्षिक ऊष्माचे निश्चयन करण्याच्या रीति

(१) सांद्र वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्माचे निश्चयन सांद्र वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्माचे निश्चयन मिश्रण रीतीने

(method of mixtures) करतात. या रीतीचे विवेचन पुढील प्रमाणे आहे. पु पुज असलेला मान्द्र त या विवक्षित उच्च तापापर्यंत तापवून, तो लगेच एका पानातील पु<sub>१</sub> पुजाच्या पाण्यात बुडवितात. या स्थितीत सान्द्राचा ताप न्यून होताना, त्यातील ऊष्मा पाण्याला मिळून त्याचा ताप वाढतो या पाण्याचा प्रारंभिक ताप त<sub>१</sub> आणि तप्त मान्द्र पाण्यात बुडविल्यानंतर पाण्याचा अंतिम उच्च ताप त<sub>२</sub> याची वाचने घेतात.

शीत होताना तप्त सान्द्राने दिलेला ऊष्मा = पाण्याच्या  
[ तापवर्धनाला लागणारा ऊष्मा.

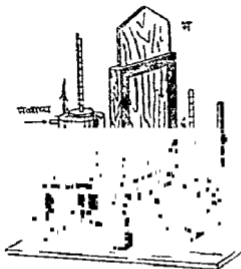
उपमितीचा (calorimetry) वरील मूळ नियम खालील समीकाराने दर्शविता येतो.

$$पु \times ऊ (त - त_२) = पु_१ (त_२ - त_१)$$

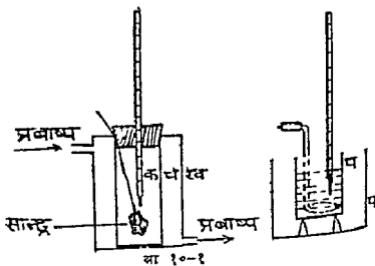
वरील समीकारात ऊ हा सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा आहे. ऊ या राशि व्यतिरिक्त इतर राशीचे संपरीक्षित मापन करून, वरील समीकाराच्या साहाय्याने सान्द्राच्या आपेक्षिक ऊष्माचे गणन करता येते.

### मिश्रण रीतीतील विभ्रम

परिशुद्धतेच्या दृष्टीने वरील समीकारात पाण्याच्या पात्राने घेतलेला ऊष्माहि विचारांत घेणे अवश्य आहे, कारण पाण्याचा ताप वाढत असताना त्या पात्राचाहि ताप वाढतो. तसेच या पात्राचा ताप वाढताना विक्रियण, न्युट्रलन इत्यादींच्या द्वारे होणारी ऊष्माहानि वरील समीकाराने विचारात घेतलेली नाही हे आणि इतर अनुपमिती विभ्रम टाळण्यास आपेक्षिक ऊष्माचे परिशुद्ध निश्चयन पुढीलप्रमाणे करण्याचा प्रघात आहे.



प्रथम परीक्ष्य  
सान्द्राचा पु  
पुज तुलेच्या  
सा हा व्याने  
निश्चित करतात  
नंतर हा सान्द्र  
विशेष प्रकारच्या  
तापनात ताप  
वितान. आकृति  
१०-१ पाहाव  
आणि ख हे  
दोन समाक्ष  
(coaxial)  
पोवळ रमम



अमून, त्यामधील च भागातून वाष्पित्रातील प्रवाण प्रवाहित होत असते. क रम्भातील पोखळीत परीधय सान्द्र दोन्याने अधोगत वाधलेला असतो. प्रवाण्यामुळे क रम्भातील वागूचा ताप वाढून रम्भातील परीक्ष्य सान्द्राचाहि ताप वाढतो. सान्द्राला स्पर्श करून ठेवलेल्या तापमानाचे वाचन स्थिर झाल्यावर हें (न<sup>०</sup>) वाचन टिपून घेतात. प हे रम्भाकार पात्र क च्या खाली आणतात. तापमानाचे खालचे द्वार उघडून सान्द्र ज्या दोन्याला वाधलेला असतो तो दोरा तोडून अथवा दोरा त्वरित खाली सोडून तप्त सान्द्र प पात्रातील पाण्यात बुडवितात. प आणि क ही दोन समाक्ष रम्भाकार पात्रे अमून, फ च्या तळावरील लोकर, वापूस इत्यादि कुसवाट्टि (bad conductor) पदार्थांच्या थरावर प पात्र ठेवलेले असते. विचालकासहीत प पात्राचा (पु<sub>१</sub>) पुज तुलेने मापतात. नंतर स्थूलमानाने पात्राच्या ३ घारिते इतके पाणी त्यात ओतून, या पाण्याच्या (पा) पुजाचे निश्चयन करून पाण्याच्या (त<sub>१</sub>) तापाचे वाचन घेतात (सामान्यत हे वाचन कोष्ठतापा-इतकेच असते). प पात्रातील पाणी व विचालकाने ढवळून पाण्याच्या सर्व भागाचा ताप समान ठेवता येतो. प, क पात्रे आणि विचालक ताऱ्याची वेटेली असतात. प आणि क पात्राचे पृष्ठभाग चकचकीत असतात. मामुळे पात्रातून विकिरणाने होणारी ऊष्माहानि बरीच अल्प असते. प, क पात्र आणि विचालक यांच्या जुळपीला 'उपमान' (calorimeter) ही सजा आहे

प पात्रातील पाण्यात तप्त सान्द्र बुडविल्यावर लगेच विचाल-  
काच्या माहाग्याने पाणी हलक्या हानाने ढवळून तापमानाने पाण्याच्या  
त<sub>२</sub> या अन्तिम उच्च तापाचे वाचन टिपून घेतात

$$\begin{array}{l} \text{शीत होनांना तप्त वस्तूनी} \\ \text{बाहेर टाकलेला ऊष्मा} \end{array} = \begin{array}{l} \text{शीत वस्तूच्या तापवर्धनाला} \\ \text{लागणारा ऊष्मा} \end{array}$$

म्हणून,

शीत होणाना तप्त सान्द्राने  
बाहेर टाकलेला ऊष्मा

= उपमानातील पाण्याने  
घेतलेला ऊष्मा + उपमानाने  
घेतलेला ऊष्मा + उपमाना-  
पासून विकिरण इत्यादींनी  
झालेली ऊष्माहानि.

यावरून पुढील समीकार लिहिता येतो.

$$पु \times ऊ \times (त - त_२) = पा \times (त_२ - त_१) +$$

$$पु_१ \times ऊ_१ \times (त_२ - त_१) + क्ष \dots न. १०-१.$$

वरील समीकारान पु आणि पु<sub>१</sub> अनुक्रमे परिस्थि सान्द्र आणि उपमान यांचे पुज अमून, सान्द्र आणि उपमान यांच्या वस्तुद्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा अनुक्रमे ऊ आणि ऊ<sub>१</sub> यांनी दर्शविला आहे. पा हा उपमानातील पाण्याचा पुज आहे.

विकिरणाने झालेल्या क्ष ऊष्माहानीचे गणन करण्याच्या रीतीचे विवेचन पुढील भागात योग्य स्थळी दिले आहे. प्रयोगशाळेंतील उपमानाच्या संपरीक्षातील गणनान, क्ष ची अर्ही अल्प असल्यामुळे सामान्यतः ती उपेक्ष्य मानण्याचा प्रघात आहे. ऊ या राशि व्यतिरिक्त इतर राशीच्या मपरीक्षेने मापलेल्या अर्ही, वरील समीकारात आदिष्ट वरून, सान्द्राच्या आपेक्षिक ऊष्माचे गणन करतात.

वर वर्णन केलेल्या संपरीक्षेन सान्द्र तापविनांना स्थान पाण्याचा स्पर्श होत नसल्याने, उपमानाच्या पाण्यात सोडते वेळी तो तप्त सान्द्र वारंवार अमती तसेच सान्द्र वस्तूला तापनातून

अति शीघ्रतेने वाढून, लगेच उपमानाच्या पाण्यात सोडल्याने, पाण्यात बुडताना सान्द्राचा ताप त इतकाच असतो असे परिशुद्धतेने मानता येते. वाष्पित आणि तापन या दोहोंमध्ये अमणाया म लावडी पडद्यामुळे परीक्ष्य सान्द्र तापविताना वाष्पित्रापासून विकिरित होणाऱ्या ऊष्म्याने साधित्राच्या एका भागास ठेवलेल्या उपमानाचा ताप वाढत नाही

आपेक्षिक ऊष्म्याच्या विस्तृत अभ्यासावरून असे दिमून आले आहे की, आपेक्षिक ऊष्म्याची अर्हा सान्द्राच्या द्रव्यावर अवलंबून असून भिन्न भिन्न तापक्षेत्रात द्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा थोडा बहुत भिन्न असतो (ऊष्मा-एककाची माहिती देताना पाण्यासवधी केलेल्या विवेचनात ह्या विषयी विवेचन आलेलेच आहे )

### (२) तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा

तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा निश्चित करावयाचा असल्यास, उपमानाच्या पात्रात या तरलाचा पु' एज धेऊन त्या तरलात मागे दिलेल्या रोतीप्रमाणेच तप्त सान्द्र बुडविताना मान या सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा माहीत असणे आवश्यक असत

शीत होत असताना  
सान्द्राने दिलेला ऊष्मा = उपमान आणि त्यातील तरल  
यानी घेतलेला ऊष्मा  
+ क्ष, (विकिरित ऊष्मा)

$$. पु. ऊ (t - t_2) = पु. ऊ' (t_2 - t_1) + पु_1. ऊ_1 (t_2 - t_1) + क्ष$$

वरील समीकारात तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा ऊ' ने दर्शविला आहे ह्या समीकारातील इतर राशी समीकार स १०-१ प्रमाणेच दर्शविलेल्या आहेत

### (३) विलयित सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा

पाण्यात विंग्य होणाऱ्या सान्द्राचा आपेक्षिक ऊष्मा निश्चिन

नरावयाचा असल्यास, ज्या तरलात तो परीक्ष्य सान्द्र अविलेय असतो ते तरल उपमानात ठेवतात. या तरलाचा आपेक्षिक ऊष्मा माहीत असणे आवश्यक आहे.

### उपमानाचा जलसमाहं

(water equivalent of a calorimeter)

उपमानाच्या प पात्राचा  $9^\circ$  स. ताप वाढविण्यास  $(P_1 \times C_1)$  उप ऊष्मा द्यावा लागेल हे स्पष्ट आहे.  $(P_1 \times C_1)$  इतके घान्प पाणी घेतल्यास या पुत्राच्या पाण्याचा ताप  $9^\circ$  स वाढविण्यास,  $(P_2 \times C_2)$  उप ऊष्मा द्यावा लागतो, म्हणून  $(P_1 \times C_1)$  पुत्र असलेल्या पाण्याला उपमानाचा 'जलसमाहं' (water equivalent) अशी संज्ञा योजली आहे. उपमानाच्या जलसमाहं चे निश्चयन पुढील मपरीक्षेने करतात.

एका काचपात्रात पाणी घेऊन ज्योतीद्वारे या पाण्याचा ताप मावकाश वाढवितात या पाण्याचा ताप सामान्यतः कोणतापापासून  $15^\circ$  पेक्षा जास्त झाल्यावर त्याच त ह तापवाचन घेतात; आणि लगेच काचपात्रातील काही ऊष्ण पाणी उपमानातील त<sub>१</sub> कोष्ठनापावरील पाण्यात ओततात, नंतर उपमानातील पाणी ढकलून न्याच्या त<sub>२</sub> ह्या उच्च अंतिम तापाच वाचन घेतात. शेवटी, उपमानात ओतलेल्या ऊष्ण पाण्याच्या  $P_2$  पुत्राचे निश्चयन करतात. उपमानाच्या जलसमाहं चे गणन पुढील समीकाराने करता येत.

$$P_2 (t - t_2) = P_1 (t_2 - t_1) + J (t_2 - t_1)$$

उपमानातील थंड पाणी आणि मागाहून न्यात ओतलेले उष्ण पाणी याचे पुत्र अनुक्रमे  $P_1$  आणि  $P_2$  हे तुलेने निश्चित करतात.



वरील ममीवाराच्या साहाय्याने उपमानाच्या ज जलसमाहेंचे गणन करता येते परिशुद्ध अभ्यासात जलसमाहेंचे निश्चयन सपरीक्षेवरूनच करतात, तथापि सामान्यत उपमानाच्या जलसमाहेंची (पु × ऊ) ही गणन केलेली अर्हा इतर गणनात योजण्याचा प्रघात आहे

### वातीचा आपेक्षिक ऊष्मा

वातीचे तापवर्धन दोन भिन्न स्थितीत हीऊ शकत हे आपण प्रकरण ९ मध्ये पाहिलेच आहे वातीची परिमा स्थिर ठेवून वातीचा ताप वाढविण्याम अवश्य असणाऱ्या आपक्षिक ऊष्मास 'वातीचा स्थिर परिमेवरील आपेक्षिक ऊष्मा' (ऊ<sub>व</sub>) असे म्हणतात तसेच वातीच निपीड स्थिर ठेवून वातीचा ताप वाढविण्याम आवश्यक असणाऱ्या आपक्षिक ऊष्मास 'वातीचा स्थिर निपीडावरील आपेक्षिक ऊष्मा' (ऊ<sub>न</sub>) अशी संज्ञा आहे वातीच्या या दोन्ही आपेक्षिक ऊष्माच्या अभ्यामावरून असे दिसून आले आहे की, ऊ<sub>न</sub> ची अर्हा ऊ<sub>व</sub> च्या अर्हेपेक्षा जास्त असते वरील दोन भिन्न स्थितीतील वातीचा आपेक्षिक ऊष्मा भिन्न असण्याचे स्पष्टीकरण पुढील प्रकरणात योग्य स्थळी केले आहे वातीच्या निपीडावरील आपेक्षिक ऊष्माच्या निश्चयनासंबंधी विवेचन पुढे दिले आहे

**स्थिर निपीडावरील वातीच्या आपेक्षिक ऊष्माचे निश्चयन**

स्थिर निपीडावरील वातीच्या आपेक्षिक ऊष्माचे (ऊ<sub>न</sub>) निश्चयन रेनो (Regnault) या फॅच शास्त्रज्ञाने केले या निश्चयनात योजलेल्या साक्षिचाचे रेखाचित्र आकृति १०--> मध्य दाग्यविले आहे व या वाति-आशयात (reservoir) परीक्ष्य वाति भरलेला असून त्याचे निपीड बरेच जास्त असते वाति-

आणि वातीचा आपेक्षिक ऊष्मा  $\frac{C}{n}$  ने दर्शविल्यास सपरीक्षेतील मापलेल्या राशीच्या अर्हा पुढील समीकागत आदिष्ट करून  $\frac{C}{n}$  चे गणन करता येते.

$$W \times \frac{C}{n} \times \left( t - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) = J \times (t_2 - t_1) + \text{क्ष}$$

बरोल ममीशरान उपमानातील पाणी आणि उपमानाचा जलममाहं या दोहोचा समावेश  $J$  या राशीत केला आहे

सपरीक्षेतील उपमानाचा ताप सामान्यतः सभोवारच्या तापपेक्षा जास्त असतो, म्हणून उपमानाच्या बाह्यपृष्ठभागावरून विकिरणामुळे झालेली उष्माहानि  $\text{क्ष}$  या राशीने दर्शविली आहे. या उष्माहानीचे योग्य सपरीक्षेने निरसन (elimination) करता येते

सपरीक्षेच्या प्रारंभी  $\text{क्ष}$  चे निपीडवाचन घेऊन समीकार स १०-२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे  $\frac{C}{n}$  मधील वाति-पूजाचे गणन करतात तसेच सपरीक्षेच्या शेवटी  $\text{क्ष}$  च्या वाचनावरून  $\frac{C}{n}$  मधील उरलेल्या वातीच्या पूजाचे गणन करतात बरोल दान पूजातील भेदातून  $\text{क्ष}$  पुढे असलेला वाति  $\text{क्ष}$  कुतलनलिकेतून घेऊन उपमानातील  $\frac{C}{n}$  कुतलनलिकेतून बाहर गेला.

### परमाण्विक ऊष्मा नियम

(Dulong and Petit's law of atomic heats)

मूलतत्वाचा आपेक्षिक ऊष्मा  $\frac{C}{n}$  आणि त्या तत्वाचा परमाणु-भार (atomic weight)  $P$  याच्या गुणाकारास 'परमाण्विक ऊष्मा' ही सजा देता येईल

इंधूलांग आणि पेटि या शास्त्रज्ञानी मूळद्रव्योसबधी आपेक्षिक ऊष्मा आणि परमाणुभार यांच्या ज्ञात असलेल्या अर्हा घोजून परमाण्विक ऊष्म्याचे गणन वेल अशा गणनावरून परमाण्विक ऊष्म्यामवधी या शास्त्रज्ञानी अमा निष्कर्ष काडला की, निरनिराळ्या मूलतत्वाच्या परमाण्विक ऊष्म्याची अर्हा ६४ इतवी असते इंधूलांग आणि पेटि यांचा बरील नियम स्थूलमानाने सय आहे अम परिशुद्ध सपरीक्षावरून दिसून येत कारण वाही मूलतत्वाच्या आपेक्षिक ऊष्म्याची अर्हा तापक्षेत्रावर अवलंबून असते त्याचप्रमाणे मूलतत्वाची अपगवतिक रूपे (allotropic forms) असल्यास या भिन्न रूपाचा आपेक्षिक ऊष्माहि भिन्न असतो उदाहरणार्थ कोळशाचा आपेक्षिक ऊष्मा ० २४२, हिच्याचा ० १४७ आणि लिखादमाचा (graphite) ० २०२ आहे पुढील उदाहरणावरून परमाण्विक भार—निश्चयनात इंधूलांग आणि पेटि यांच्या परमाण्विक ऊष्मा—नियमाचा उपयोग वसा करतात हे उदात येईल.

उदाहरण—एका मूलतत्वाचा आपेक्षिक ऊष्मा ० २५ असून त्याचा समसयुज भार (equivalent weight) १ १ असल्यास त्या मूलतत्वाचा परमाण्विक भार गणन करा

इंधूलांग आणि पेटि यांच्या नियमाप्रमाण,

$$\text{परमाण्विक भार} \times \text{आपेक्षिक ऊष्मा} = ६४$$

$$\text{परमाण्विक भार} = \frac{६४}{\text{आपेक्षिक ऊष्मा}} = \frac{६४}{० २५} = २५६$$

इंधूलांग आणि पेटि यांचा नियम स्थूलमानाने मत्स्य असल्याने, वर गणन केलेला २५६ हा परमाण्विक भार तितनासा परिशुद्ध नाही त्यापश्चा समसयुज भाराच निश्चयन जास्त परिशुद्ध असल्याने, २५६

त्या सर्वांत जवळ अगणारा समस्तयुग्मभाराचा अपवर्ण (multiple)  
 $121 \times 2 = 242$  हा त्या मूलतत्त्वाचा पश्चिमे परमाण्विक  
 भार होय

### प्रश्न

(१) एका ताऱ्या उपमानाचा पुत्र १८० घान्य अमून, त्यातील  
 पाण्याचा पुत्र २८० घान्य आहे पाण्याचा ताप  $30^{\circ}$  न आहे  
 या उपमानात १८० घान्य पुत्राचा तप्त लोखंडी तुकडा बुडविला  
 लोखंडाचा प्रारंभिक ताप  $100^{\circ}$  न. अमून उपमानातील पाण्याचा  
 अन्तिम ताप  $33.5^{\circ}$  न असल्यास लोखंडाच्या आपेक्षिक ऊष्म्याच  
 गणन करा (ताऱ्याचा आपेक्षिक ऊष्मा  $0.1$  आहे)

(२) एका ताऱ्याच्या उपमानाचा पुत्र ५० घान्य अमून  
 त्यात  $300$  घान्य पाणी आहे त्या पाण्याचा ताप  $20^{\circ}$  न आहे  
 या पाण्यात तांबे आणि लोखंड यांच्या मिश्रणाचा गोळा टाकला  
 ह्या गोळ्याचा पुत्र १०० घान्य अमून उपमानान टाकण्यापूर्वी या  
 गोळ्याचा ताप  $125^{\circ}$  न होता गोळा पाण्यात टाकल्यानंतर  
 उपमानाचा अन्तिम उच्च ताप  $25^{\circ}$  न झाल्यास, गोळ्यातील तांबे  
 आणि लोखंड यांचे परस्पर प्रमाण काय असावे ? (तांबे आणि  
 लोखंड यांचा आपेक्षिक ऊष्मा अनुक्रमे  $0.1$  आणि  $0.2$  आहे)

(३) क, ख आणि ग या तीन तरलांचा ताप अनुक्रम  
 $30^{\circ}$  न,  $20^{\circ}$  न आणि  $10^{\circ}$  न आहे क आणि ख यांच्या  
 समपुत्राच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप  $26^{\circ}$  न आहे क आणि ग  
 यांच्या समपुत्राच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप  $25^{\circ}$  न ह्या  
 असल्यास, ख आणि ग यांच्या समपुत्राच्या मिश्रणाचा परिणामी  
 ताप किती शक्तिशाली होईल ? तसेच या तिन्हीही तरलांच्या सम-  
 पुत्राच्या मिश्रणाचा परिणामी ताप किती होईल ?

(४) वातीच्या अचल निपीडावरील आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन कसे करतात हे स्पष्ट करा.

(५) उपमानाच्या जलसमाहेंची कल्पना विशद करा. वस्तूच्या तापीय धारितेचे गणन कसे करतात हें स्पष्ट करा. ' 1

(६) एका उपमानांत पाणी असून त्या पाण्याचा ताप  $25^{\circ}$  स. आहे. या उपमानात एक तप्त धातूचा तुकडा आणि काही शीत पाणी टाकले असता त्या उपमानातील पाण्याचा ताप  $25^{\circ}$  स. वर स्थिर असतो. तप्त धातूच्या तुकड्याचा ताप  $90^{\circ}$  स. असून त्याचा पुज २१ धान्य आहे. उपमानात टाकलेल्या शीत पाण्याचा पुज ११.१ धान्य असून या शीत पाण्याचा ताप  $3^{\circ}$  स. आहे. यावरून धातूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करा.

## अवस्था-परिवर्तन

### द्रावांक

साठ वस्तूचा ताप वाढवीत गेल्यास, विशिष्ट ताप झाल्यावर जास्त ऊष्मा मिळाल्याने, त्या सान्द्राचे तरल-अवस्थेत रूपांतर होते. हा विशिष्ट ताप त्या सान्द्राच्या द्रव्यावर अवलंबून आहे. उदाहरणार्थ हिमाचे  $0^{\circ}$  श तापावर पाणी होते; मेण  $50^{\circ}$  श तापावर वितळते. ह्या विशिष्ट तापास त्या सान्द्र द्रव्याचा 'द्रावांक' (melting point) अशी सजा आहे अनेक द्रव्यांच्या द्रवणाच्या (melting) अभ्यासावरून काढलेले निष्कर्ष पुढील सामान्य नियमात दर्शविले आहेत

(१) निपीड स्थिर अमल्यास एका विशिष्ट तापावर वस्तूत ऊष्मा दिल्यास त्या वस्तूचे सान्द्रस्थितीतून तरलस्थितीत परिवर्तन होते त्याच स्थिर निपीडावर या तरलातील ऊष्मा न्यून केल्यास तरलाचे (solidification) साद्रीभवन त्याच विशिष्ट तापावर होते. या विशिष्ट तापास 'द्रावांक' ही सजा असून, त्याची अर्हा वस्तूच्या द्रव्यावर अवलंबून असते

(२) वस्तूवरील निपीड-परिवर्तनाने द्रावाकानहि थाड परिवर्तन होते

(३) सान्द्राचे द्रवण होताना सामान्यतः साद्र आणि तरल यांच्या परिमां भिन्न असतात

लोखंड, काच इत्यादींच्या साद्र वस्तू तापविल्यास त्याच

मान्द्रावस्थेतून तरल स्थितीत हळूहळू परिवर्तन होते वरील वस्तू-द्रव्याचा ताप वाढवल्यास त्या वस्तू प्रथम मृदु होऊ लागतात त्यानंतर ताप वाढविल्यास त्याचे रूपान्तर बरेच आलगतत्व असलेल्या तरलात होते, आणि हे अवस्था-परिवर्तन नाही विशिष्ट तापाच्या मर्यादित होते यामुळे लोखंड, काच या सारख्या द्रव्याचा एक विशिष्ट द्रावाक आहे असे म्हणता येत नाही लोखंड आणि काच या सारख्या साद्र द्रव्याची द्रवणपूर्व मृदु स्थितीहि महत्त्वाची आहे. मृदु अवस्थेतील लोखंडास योग्य आकार देऊन त्यापासून यनाचे भाग आणि व्यवहारातील इतर उपयोगी वस्तू करणे शक्य असते मृदु स्थितीतील काचेपासून काचेची पात्रे आणि काचेची उपकरणे करता येतात.

### बुद्बुदांक (boiling point)

तरलाचा काही विशिष्ट ताप झाल्यानंतर त्या तरलास जास्त ऊष्मा मिळाल्यास तरलाच्या सर्व भागातून त्याच्या बाष्पाचे (vapour) बुद्बुडे निघू लागतात आणि तरल उकळण्यास प्रारम्भ होतो तरलाचे अशा रीतीने बाष्पात रूपान्तर होण्याच्या घटनेस 'बुद्बुद बाष्पन' (vapourisation by boiling) असे म्हणतात. या बाष्पनाचे नियम पुढीलप्रमाणे आहेत

(१) निपीड स्थिर असल्यास तरलद्रव्याचे बाष्पन एका विशिष्ट तापावर होते ह्या तापास तरलाचा त्या निपीडावरील 'बुद्बुदांक' ही सजा आहे. बुद्बुदांकाची अर्हा तरलाच्या द्रव्यावर अवलंबून असते

(२) तरलावरील निपीड वाढल्यास, तरलाचा बुद्बुदांक वाढतो आणि निपीड न्यून केल्यास, बुद्बुदांक न्यून होतो. [ श्रृंख

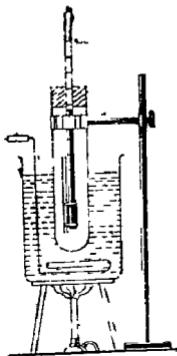
निपीडावरोल बुदबुदावाग 'सजु बुदबुदाव' (normal boiling point) अशी मजा आटे. पाण्याचा सजु बुदबुदाव  $100^{\circ}$  स आहे

(३) तरलापामून अवस्थान्तराने झालेन्या वाष्पाची परिमा तरलाच्या परिमेपेथा वरीच जास्त असने.

(४) तरलाचे वाष्पन हांत असना तरलास ऊष्मा घावा लागून, सपूर्ण तरलाचे वाष्पन होईपर्यंत तरल आणि वाष्पाचा ताप एकच अमून तो स्थिर असतो

### द्रावांकाचे निश्चयन

पारद तापमानाच्या तापमर्यादेतील द्रावाकाचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करतात परीक्ष्य सान्द्रद्रव्य विनळवून, त्यापामून झालेले तरल लहान बेशालनळीत भरतात यानंतर, नळीतील सपूर्ण तरलाचे सान्द्रात रूपान्तर होईतोपर्यंत ती नळी शीत करतात नंतर, ही बेशालनळी एका पारद तापमानाला बन्दासमीप बाधुन पारदतापमान एका रद परीक्षण नळीत ठेवतात (आकृति ११-१ पाहा) या परीक्षण नळीचा ताप ज्योतीने वाडविल्याम, नळीतील ऊष्ण वायूने बेशालनळीतील सान्द्र वितळ लागतो सान्द्र वितळू लागताच तापमानाचे वाचन लिपतात त्या-



आ ११-१



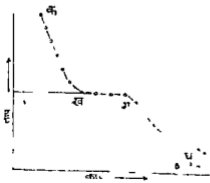
नंतर ज्योत एकीकटे सारून, केशालनळीचा ताप न्यून होऊं देतात. असे होताना तरलाचे मान्द्रीभवन होऊं लागताच तापमानाचे दुसरे वाचन घेताना अशा रीतीने, केशालनळी आळीपाळीने तापवून आणि शीत करून द्रावाकाची अनेक वाचने घेऊन या वाचनाची माध्य अर्हा गणन करतात.

### धातु-द्रव्याचा द्रावांक

धातुद्रव्याचा द्रावांक पुढील प्रमाणे निश्चिन करतात.

तरलस्थितीतील धातुद्रव्यात रोधतापमान (resistance thermometer) अथवा तापमिथुन (thermo-couple) योग्य रीतीने ठेवून, तरल शीत होताना एका कलेच्या (minute) कालान्तराने या तरलाच्या तापाची वाचने घेतात या तरलाचा ताप द्रावाका-इतका झाल्यावर काही काळपर्यंत तरलाचा ताप स्थिर असतो यचे कारण असे की, सान्द्राचे तरल होताना सान्द्राला ऊष्मा पुरवावा लागतो आणि तरलाचा सान्द्र होताना हाच ऊष्मा तरलातून निस्सारित (extracted) व्हावा लागतो हा ऊष्मा निस्सारित

होईपर्यंत तरलाचा ताप स्थिर असतो सपूर्ण तरलाचे सान्द्र स्थितीत परिवर्तन झाल्यावर, तापमानाच्या वाचनावरून ताप न्यून होत असल्याचे दिसून येते. अशी तापवाचने आणि कालावधि याचा आकृति ११२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे कखगघ बिन्दुरेख



आ. ११-२

वाढतान. तरलाचे मान्द्र स्थितीत रूपान्तर होताना, ग आणि ग यांच्या कालावधीतील स्थिर ताप हा त्या धातुद्रव्याचा द्रावाक होय असे या विन्दुरेखेवरून लक्षात येईल.

तरलातील विलेय अणुद्धीचा उकळण्याच्या तापावर बराच परिणाम होतो. तथापि, या तरलापासून झालेल्या वाष्पाचा ताप आणि नुद्ध तरलाचा बुद्बुदाक हे समान असल्याकारणाने, बुद्बुदाच्या निश्चयनाकरता तापमान उकळत्या तरलाच्या वाष्पाने ठेवतात. बुद्बुदाचा वाचन घेताना, तरलावरील निपीडाचेहि वाचन टिपणें आवश्यक असते. (तापमिती प्रकरण ६ वे पाहा)

मान्द्राचे तरल होताना परिमापरिवर्तन होते, हे वर सांगितलेच आहे या परिमापरिवर्तनाचाहि व्यवहारात उपयोग होतो उदाहरणार्थ, मुद्रणालयातील मुद्राचे ठसे करण्यात जो मिश्रधातु उपयोगात आणतात, त्याच्या तरलाचे मान्द्रोमवन होताना परिमा वाढने ह्यामुळे, माच्यातील सर्व भागात धातु पसरतो आणि त्यायोगे माच्यातील सर्व मूळमता ठशात तनोतत उतरते.

### निपीडपरिवर्तनाचा द्रावाकावर होणारा परिणाम

सान्द्रावरील निपीडपरिवर्तनाने त्या सान्द्राच्या द्रावाकाचे परिवर्तन होत, इत्यादि घटना यापूर्वी सांगितल्या आहेत या परिवर्तनाच्या जास्त अभ्यासावरून अनेक दिसून आले आहे की, काही सान्द्राचा द्रावाक निपीडवर्धनाने न्यून होतो, आणि याच्या उलट, निपीडवर्धनाने इतर कित्येक सान्द्राचा द्रावाक वाढतो. या घटनाची कारणे पुढीलप्रमाणे देता येतील निपीडवर्धनाने वस्तूची परिमा न्यून होण्याची शक्यता असते आणि सान्द्राचे तरलत हात असताना परिमा न्यून होत असल्यास, न्यून परिमा होणाऱ्या द्रवणाम निपीडवर्धनाचे साहाय्य होण्याचा समव असतो अर्थात् निपीड-

वर्धनाने ऋजुनिपीडावरील द्रावाकापेक्षा न्यून असलेल्या तापावर सान्द्र द्रवित् व्हावा असे अनुमान करता येईल  $0^{\circ}$  श ताप असलेल्या हिमाचे पाणी होताना, परिमा न्यून होते हिमावरील निपीड वाढविल्याने त्याचा द्रावाक  $0^{\circ}$  श तापापेक्षा न्यून होणे, ही घटना वरील विवेचनावरून स्पष्ट होते

सान्द्राचे तरलन होताना परिमा वाढत असल्यास, निपीड-वर्धनाने परिमावर्धनाला विरोध होतो म्हणून परिमावर्धन हाणाऱ्या द्रवणाला निपीडाचा विरोध होईल या स्थितीत ऋजु-निपीडावरील द्रावाकापेक्षा थोड्या जास्त तापावर त्या सान्द्राचे द्रवण व्हावे असे अनुमान करता येईल द्रवीभूत होताना परिमा जास्त हाणाऱ्या मेणासारख्या सान्द्राचे निपीडवर्धनामुळे ऋजुनिपीड द्रावाकापेक्षा थोड्या जास्त तापावर द्रवण होते या घटनानी द्रावाकाच्या परिवर्तनासबधीच्या वरील अनुमानाना पुष्टी मिळते

निपीड वर्धनाने हिमाचा द्रावाक थोडा न्यून होतो, ह माहीत असल्यास पुढे दिलेल्या घटनाचे स्पष्टीकरण सुलभ होते

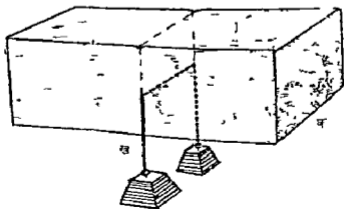
### पुनःश्यान (regelation)

हिमाचे दोन गोळे एकमेकांवर दाबून नंतर त्यावरील दाब काढून घेतल्यास, त्या दोन गोळ्यांचा एकच गोळा होतो. याच कारण, निपीडामुळे हिमाचा द्रावाक  $0^{\circ}$  श पेक्षा न्यून होतो, म्हणून निपीडाखालील हिम  $0^{\circ}$  श तापावर सान्द्र स्थितीत राहू शकत नसल्याने दोन गोळ्यांमधील संपर्कित भागात हिमाचे तरलन होत ह्या तरलनास आवश्यक असणारा ऊष्मा हिमातूनच मिळाल्याने या हिमाचा आणि त्यापासून झालेल्या पाण्याचा ताप  $0^{\circ}$  श पेक्षा थोडा न्यून होतो हिमावरील दाब

वाढून घेतांच ०° स. पेशा न्यून ताप असलेल्या पाण्याचे तान्नाळ हिमांत रूपांतर होऊन, हिमाचे दोन गोंठे एवत्र साधने जातात. वरील घटनेस 'पुनःस्थान' (regelation) ही मजा आहे हिमाचा ताप ०° स. पेशा बराच न्यून असल्यास आपल्या हाताच्या दाढाने हिमाच्या तापापेशा द्रावात आपली न्यून बरणे घडवू नसते; म्हणून ०° स. पेशा न्यून ताप असलेल्या हिमाच्या गोंठ्याचा हातांत दाबून एका गोंठ्या बरणे अशक्य असते.

हिमावरून ओव्हाटी जोड घालून घसरत (skating) जाण्याच्या घटनेचे स्पष्टीकरण पुढील प्रमाणे आहे. लोखंडी जोडघाखालील हिम निपीड यथंतामुळे बिनळून हिम आणि जोडघाचा तळ यामध्ये हिमापासून झालेल्या पाण्याचा पातळ थर येऊन जोडघाखालील सघर्ष-बल बरेच कमी होते. अर्थातच, जोडा घालणारा अल्प प्रयासाने हिमावरून बऱ्याच लांबवर घसरत जाऊ शकतो.

हिमाच्या पुनःस्थानात सवधी टिंडाल (Tyndall) या शास्त्रज्ञाने पुढील प्रयोग योजला व या बऱ्याच मोठ्या हिमस्रण्डाभोवती



ख ही तांब्याची तार गुडाळून, त्या तारेच्या टोकाम बऱ्याच भाराचे भान्द्र अडकवून ते लोबकळत ठेवतात (आकृति ११-३ पाहा). या स्थितीत तारे खालील हिमावर निपोड वाडल्याने न्याचे पाणी होऊन तार हळूहळू हिमखण्डात सिरते आणि शेवटी हिमखण्डाच्या खालील भागातून बाहेर पडते; परंतु हिमखण्डाचे दोन तुकडे मात्र होत नाहीत याचे कारण हे आहे की तार जसजशी हिमात जाईल तसतसे तोवरील पाण्याचे हिम होऊन हिमखण्ड पूर्वोत्तारखाच सलग राहती तांब्याची तार न बापरता लोखंडाची तार घेतल्यास ती हिमातून जाण्यास जरा जास्त अवधि लागते याचे कारण असे आहे की, तारेखालील निकटवर्ती हिमाचे निपोडबंधनाने झालेले पाणी  $0^{\circ}$  तापापेक्षा न्यून तापावर असते ह्या पाण्यातून तार साली गेल्यावर निपोड अल्प झालेल्या पाण्याचे पुन हिम होताना तारेवरील पाण्यापासून द्रवणाचा गुप्त उष्मा जास्त उष्मासवाही तांब्यातून तारे खालील हिमास मिळून ते लवकर वितळते म्हणून तांब्याची तार शीघ्रनेने हिमातून जाते.

### गुप्त ऊष्मा ( latent heat )

सान्द्राचे द्रवण होताना त्यास उष्मा मिळत असूनहि, सान्द्राचा ताप वाढत नाही हा अन्भव द्रवणासबंधीच्या चवथ्या नियमात अंतर्भूत झाला आहे. एका पात्रात थोड गीत पाणी आणि दुसऱ्यात थोडे हिम टाकून, दोन्ही पात्रे सारख्याच प्रमाणात ज्योतीने तापविल्यास, पाण्याचा ताप वाढलेला दिवता तथापि, हिमाचे पूर्ण पाणी होईपर्यंत ज्योतीपासून उष्मा मिळत असूनहि, हिमाचा आणि त्यापासून झालेल्या पाण्याचा ताप वाढत नाही सर्व हिमाचे पाणी झाल्यावरच ताप वाढू लागतो यावरून असे अनुमान करता येईल की, हिमाचे पाण्यात रूपान्तर होण्यास काही विशिष्ट ऊष्माची आवश्यकता असते, मात्र या ऊष्माने हिमाचा ताप वाढत नाही, म्हणून या ऊष्माराशीम 'हिमाच्या द्रवणास लागणारा गुप्त ऊष्मा' ( latent heat of fusion of ice ) असे म्हणता येईल

हिमाप्रमाणे इतर सान्द्राचे तरलावस्थेत परिवर्तन होताना त्याम  
गुप्त ऊष्मा द्यावा लागतो.

पाणी एवढा उबळू लागल्यावर ज्योतीपासून ऊष्मा मिळत  
असूनहि, पाण्याचा ताप बृद्धिदागपेक्षा जास्त वाढत नाही यावरून,  
तरलाच्या वाष्पनास काही ऊष्माची आवश्यकता असते हे स्पष्ट  
आहे. या ऊष्माराशीस, तरलाच्या 'वाष्पनास लागणारा गुप्त ऊष्मा'  
(latent heat of vapourisation) असे म्हणता येईल. बरोच  
गेन्ही गुप्त ऊष्माराशीच्या परिमाणा पुढील प्रमाणे आहेत.

### द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा (latent heat of fusion)

तापात परिवर्तन न होता, १ धान्य सान्द्राचे द्रवण होण्यास  
आवश्यक असणाऱ्या ऊष्माराशीस, 'द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा' अशी  
संज्ञा आहे ह्या ऊष्माराशीने सान्द्राचा ताप न वाढता, त्याचे  
तरलावस्थेत परिवर्तन होणे एव धान्य तरलाचे सान्द्रोभवन होताना  
द्रवणाच्या गुप्त ऊष्माराशि इतक्याच ऊष्माराशीची त्या तरलानून  
हानि व्हावी लागते हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० उप असल्याने  
१०० धान्य पाण्याचे हिमात परिवर्तन झाल्यास  $१०० \times ८० = ८०००$   
उप ऊष्मा पाण्यापासून निस्सारित होईल

### वाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा

(latent heat of vapourisation)

तापात परिवर्तन न होता, एक धान्य तरलाचे वाष्पन होण्यास  
अवश्यक असणाऱ्या ऊष्माराशीस, 'वाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा' ही संज्ञा  
आहे एक धान्य वाष्पाचे तरलन होताना त्या वाष्पातील इतक्याच  
ऊष्माराशीची हानि व्हावी लागते पाण्याच्या वाष्पनाचा गुप्त  
ऊष्मा ५३६ उप आहे

### द्रवणाच्या गुप्त ऊष्माचे निश्चयन

हिम द्रवणाच्या गुप्त ऊष्माचे निश्चयन करणे बरच मुलम

आहे प्रथम उपमानाचा पुज तुलेच्या साहाय्याने निश्चित करतात. उपमानात (त) कोष्ठताप असलेले पाणी घेऊन, त्याचा पु पुज निश्चित करतात. या पाण्यात थोडे कोरडे हिमखण्ड टाकून हे मिश्रण ढवळून, सर्वे हिमखण्ड वितळत्यावर लगेच ह्या मिश्रणाच्या अन्तिम नीच तापाच वाचन (त<sub>१</sub>) टिपतात. यानंतर, हिमखण्डापासून झालेल्या पाण्याचा (पु') पुज निश्चित करतात .

उपमान आणि त्यातील पाणी शीत  
हानाना त्याच्यापासून मिळालेला ऊष्मा = हिमाच्या द्रवणास लाग-  
लेला गुप्त ऊष्मा +  
हिमापासून झालेल्या  
पाण्याचा ताप ०° श.  
पासून त<sub>१</sub>° श पर्यंत  
वाढण्यास लागलेला ऊष्मा

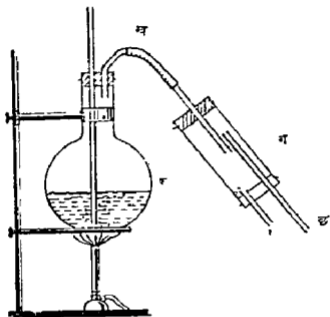
$$\therefore \text{पु (त - त}_1) + \text{ज (त - त}_1) = \text{पु' गा + पु' (त}_1 - 0)$$

या समीकारात ज हा उपमानाचा जलसमाहं असून गा हा हिमाच्या द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा आहे या समीकाराच्या साहाय्याने सांद्राच्या द्रवणाला अवश्य असणाऱ्या गुप्त ऊष्माचे गणन करता येते

### प्रवाप्पाच्या गुप्त ऊष्माचें निश्चयन

उपमानातील पाण्याचा पुज पु निश्चित करून या पाण्याच्या त<sub>१</sub> तापाच वाचन घेताना आकृति ११-४ मध्ये दाखविलेल्या क बाष्पनातील पाण्यापासून झालेला प्रवाप्प ख नळीतून जाताना, त्या प्रवाप्पार्पकी काहीच पाणी झाल्यास, त पाणी ग रुद नळीच्या तळाशी पडते आणि छ मार्गे केवळ कोरडा प्रवाप्पच बाहेर पडता

छ नळीचे टोक उपमानाच्या पाण्यात बुडवून अवश्य तितका कोरडा प्रवाप्प पाण्यात सोडता येतो. ख, ग आणि छ या नळ्याच्या



आ ११-४

जळणीला 'प्रवाह्य-पजर' (steam trap) असे म्हणतात. वाष्पिन्नातील प्रवाह्य बाहेर आणण्याच्या नळीला बाहेरून कापूस, लोकर इत्यादि गुडाळतात. तसेच, ही नळी आकृति ११-४ मध्ये दाखविण्याप्रमाणे वाष्पिन्नाकडे उतरती ठेवतात. या योगाने, ख पर्वत पोचण्यापूर्वी बाही प्रवाह्याचे तरल झाल्यास, ते तरल परत वाष्पिन्नाकडे प्रवाहित होते, आणि ख कडे कौरडा प्रवाह्य प्रवाहित होतो.

छ नळीचे टोक उपमानातील पाण्यात ठेवून, पाण्याचा (त<sub>१</sub>)



कोष्ठताप  $१०^{\circ}$  ते  $१२^{\circ}$  वाढल्यावर, उपमान एकीकडे काढून घेतात. नंतर त्यातील पाण्याच्या अंतिम उच्च स्थिर तापाचे ( $t_2$ ) वाचन नोंदतात. यानंतर, उपमानाचा भार पुन निश्चित करून, त्यातील प्रवाण्याच्या नरलनाने जास्त झालेल्या पाण्याचा पुज निश्चित करतात. पुढील समीकाराच्या साहाय्याने, प्रवाण्याच्या ] (ग) गुप्त ऊष्म्याचे गणन करता येते

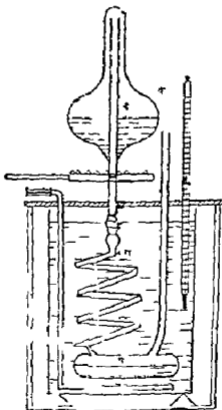
$$P (t_2 - t_1) + J (t_2 - t_1) = P_1 \cdot g + P_2 (t - t_2)$$

वरील समीकारात  $P_1$  हा तरलन झालेल्या प्रवाण्याचा पुज असून, त्याचे तरलन  $t$  तापावर होते असे मानले आहे त हा पाण्याचा वायुमण्डलीय निपीडावरील बुद्बुदाक असून या बुद्बुदाकाचे गणन चापीडमानाच्या वाचनावरून करता येते.

वाष्पनाच्या गुप्त ऊष्म्याच्या निश्चयनाची परिशुद्ध रीति पुढीलप्रमाणे आहे.

आकृति ११-५ मध्ये दर्शविलेल्या क या बाष्पित्रात परीक्ष्य तरलाचे वाष्पन करतात. तरलाचे बाष्प स नळीमार्गे ग कुतलाकार नळीतून आताना, त्या बाष्पाचे तरलन होऊन, त्या तरलनाचा गुप्त ऊष्मा उपमानातील पाण्याला मिळतो प्रथम उपमानातील पाण्याचा (पु) पुज आणि त्याचा ( $t_2$ ) ताप याची वाचने नोंदतात नंतर क मधील तरलाचा बाष्प उपमानातील पाण्यातून थोडा वेळ जाऊ देऊन, स नळीपासून ग नळी वेगळी करतात, आणि उपमानातील पाण्याच्या ( $t_2$ ) अंतिम उच्च स्थिर तापाचे वाचन नोंदतात कुतलाकार नळीच्या शेवटी असलेल्या प या रूढ भागात प्रवाहित होणा-या बाष्पापासून झालेले तरल साचते. ग नळी रिवत असतानाचा भार, आणि त्यात तरल साचतेले असतानाचा भार

निश्चित वस्तु या भार वाहनांच्या भेदाद्वहन साचलत्या तरलाचा पु, पुज गणन करतात तरलाच्या घाष्यनाचा गुण उष्मा आणि तरलाचा अणुक्षेत्र ऊष्मा अनुक्रमे या आणि ऊ, ते दर्शविण्यास,



$$P_2 (t_2 - t_1) + J (t_2 - t_1) = P_1 \cdot GA + P_1 \cdot J_1 (t_1 - t_2)$$

ऊ, जो अहाँ माहंत असल्यास, गा चे गणन करता येतें. न वाष्पिनात परीक्ष्य तरल म्हणून पाणी घेतल्यास, ऊ, = १ ह लक्षात येईल

या साधिनात ख मधन वाष्प प्रवाहित होत असता. ख च्या मधोवार वाष्प आणि उफळणार तरल असल्यामुळे ख मधून जाणाऱ्या वाष्पाचे तरलन संभवत नाही या साधिनाच्या साहाय्याने पाण्याशी रसायनिक क्रिया होणाऱ्या तरलाच्या वाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा निश्चित करणे शक्य होते कारण ग मध्ये येणाऱ्या तरलाचा पाण्याशी स्पर्श होत नाही हे साधिना प्रथम बर्थोले ( Berthelot ) या शास्त्रज्ञाने योजले

### अधिशीतन (super cooling)

पाण्याचा ताप न्यून केल्यास ०° श. तापावर पाण्याचे हिमात रूपान्तर होते ही घटना सर्वांस माहीतच आहे पाण्याचा ताप ०° श पेक्षा न्यून असला तरीसुद्धा ते तरलावस्थेतच राहू शकते हे पुढील सपरीक्षेवरून दिसून येईल

सुद्ध पाणी उकळून त्यातील सर्व विलीन वामु बाहेर पडू घावा या पाण्यावर तेलाचा पातळ थर ठेवून पाण्याचा ताप न्यून केल्यास, पाण्याचे ०° श तापावर हिमात रूपान्तर न होना-१२° श तापापर्यंत पाणी तरलावस्थेतच राहू शकते यानावापेक्षा (freezing point) न्यून ताप असूनहि तरलाचे सान्दीभवन न होता, त्याची तरलावस्था अपरिवर्तित असू शकते या घटनेला 'अधि शीतन' म्हणतात

तरलाचे सान्दीभवन होताना त्यात स्फट (crystals)

निर्माण होत असल्यास, अशा तरलाचे अधिशीतन करणे बरेच मुल्य असते. मात्र अधिशीतन अवस्थेतील हे तरल अस्थिरस्थितीत (unstable state) जमते अधिशीत तरलात त्याच द्रव्याचा लहानसा स्फट टाकल्यास, अथवा हे अधिशीत तरल जोराने हलविल्यास, अशा तरलाचे सान्द्रीभवन अतिशीघ्रनेने होते; आणि असे होताना तरलाचा न्यून ताप ऋजुदाबाबापर्यंत वाढतो याचे कारण असे आहे की, सान्द्रावस्थेत रूपान्तर होताना तरलाने बाहेर टाकलेल्या गुप्त ऊष्मांपैकी काही ऊष्माने अधिशीत स्थितीतील तरलाचा ताप ऋजुदाबाबाबाबडे वाढत जातो धार शुल्बिन (photographer's hyps) स्फटाचे चूर्ण वरून ते चूर्ण तापविल्यास  $40^{\circ}$  स तापावर स्फट चूर्णांच ग्याच्या स्फटजलान (water of crystallisation) तरलन होते या विलयनाचा ताप हट्टुहळू न्यून केल्यास,  $20^{\circ}$  स. तापापर्यंत हे विलयन तरल स्थितीत राहू शकते विलयनाच्या या अधिशीतन अवस्थेत त्यात धारशुल्बिताचा लहान स्फट टाकल्यावरोवर या विलयनाच अतिशीघ्रनेने सान्द्रीभवन होऊन त्याचा ताप  $40^{\circ}$  स पर्यंत वाढतो.

### अधितापन (super heating)

शुद्ध तरलातील थेंबे विलीन वायू उकळण्याने बाहेर घालून दिल्यास, ह्या तरलाचा ताप ऋजुवृद्धदाबापेक्षा जास्त वरूनही, त्याची तरलाधम्या अपरिघटित ऊर्ध्वता येते या घटनेस 'अधितापन' म्हणतात विलीन वायुरहित पाणी हळुहळू तापवून, त्याचा ताप  $100^{\circ}$  स. पेक्षा बराच वर वाढविता येतो, मात्र या अधिताप पाण्याच्या पात्राम किंचितहि धक्का लागल्यास, त्यातील पाण्याचा उत्स्फोट (explosion) होऊन बऱ्याच पाण्याचे अति शीघ्रनेने वाष्प होते. या उत्स्फोटत्रिवेस 'ब्युदबाप्पन' (bumping) म्हणतात पाण्यात वाळूचे कण अथवा अधिलेय रश्मि (porous)

वस्तूचे वारीक तुकडे टाकल्यास, अधितापनामुळे पाण्यात व्युद्वापन न होता उकळण्याची प्रिया सधपणे होते.

**विलयन (solution) आणि श्यानमिश्र (freezing mixture)**

सान्द्र वस्तूचे तरलात विलयन होत असता सामान्यत या विलयनाचा ताप न्यून होतो याचे कारण, सान्द्र वस्तूचे विलयनस्थितीत परिवर्तन होताना सान्द्राला काही ऊष्मा मिळणे अवश्य असते. या ऊष्माला 'विलयन स्थितीचा (गुप्त) उष्मा' (latent heat of solution) असे म्हणता येईल हा ऊष्मा विलेय वस्तूला विलायकापासून (solvent) मिळतो, म्हणून विलयनाचा ताप न्यून होतो. क्षारशुल्बताचे स्फट पाण्यात विरघळवून, या विलयनाचा ताप कोठनापापेक्षा बराच न्यून करता येतो.

श्यानमिश्राची प्रतियाहि विलयनाच्या बरील प्रक्रियेसारखीच आहे मीठ (क्षारातु नीरेय = sodium chloride) आणि हिम एकत्र मिसळल्यास या वस्तू परस्परतात विरघळून, या मिश्रणाचा ताप  $0^{\circ}\text{C}$ . पेक्षा बराच न्यून होतो. १०० भाग हिम आणि ३३ भाग मीठ यांच्या मिश्रणाचा ताप  $-20^{\circ}\text{C}$  पर्यंत न्यून होऊ शकतो १०० भाग चूर्णातु नीरेय (calcium chloride) आणि ७० भाग हिम यांच्या मिश्रणाचा ताप  $-55^{\circ}\text{C}$ . असतो

**बुन्सेनचे हिम उपमान**

(Bunsen's ice calorimeter)

हिमाच्या  $0^{\circ}\text{C}$  तापावरील द्रवणाच्या गुप्त ऊष्म्याची परिमाद अर्हा माहीत असल्यास वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन पुढीलप्रमाणे करता येते

$0^{\circ}\text{C}$  ताप असलेले हिमखण्ड एका लहान पात्रात भरून

हे पात्र दुमच्या मोठ्या पात्रातील हिमखण्डांत ठेवले आहे अशी वस्तुना वस्तू. नंतर लहान पात्रातील हिमखण्डांत त<sup>०</sup> ताप झमलेली वस्तु टाकल्यास, वस्तूचा ताप त<sup>०</sup> पासून ०<sup>०</sup> श. पर्यंत न्यून होतो. असे हांत असताना वस्तूतील ऊष्मा लहान पात्रातील हिमास मिळून, त्यातील काही हिम विनष्टन त्याचे ०<sup>०</sup> श. तापावरील पाण्यात परिवर्तन होतें

तप्त मांद्राचा ताप त<sup>०</sup> श. वाही हिमाचे पाणी होताना  
 पासून ०<sup>०</sup> श. पर्यंत न्यून होताना = त्यास अवश्य असणारा  
 न्यापासून मिळालेला ऊष्मा गुप्त ऊष्मा

$$\therefore \text{पु. ऊ (त-०)} = \text{पु. गा}$$

वरील समीकारात वस्तूचा पुज पु असून वितळलेल्या हिमाचा पुज पु<sub>१</sub> ने दर्शविला आहे तसेच, ऊ हा वस्तु द्रव्याचा आपेक्षिक ऊष्मा असून, गा हा हिमाचा गुप्त ऊष्मा आहे. या रीतीत पात्राच्या अलसमाहेंचा प्रश्न उद्भवत नाही तसेच, लहान पात्र मोठ्या पात्रातील हिमात असल्यामुळे या उपमानातून इतर प्रकारे ऊष्माहानि होणे असंभवनीय असते मात्र वितळलेल्या हिमाच्या पुजाचे मापन परिशुद्धतेने करणे आवश्यक असते अशा परिशुद्धमापनाकरिता बुन्सेन ह्या शा स्त्रज्ञाने पुढील रीति उपयोगात आणली

०<sup>०</sup> श ताप असलेल्या हिमाचे ०<sup>०</sup> श. ताप असलेल्या पाण्यात परिवर्तन होताना त्या पाण्याची परिमा द्रवद् हिमाच्या परिमेपेक्षा न्यून असते. दुसऱ्या शब्दात अस म्हणता येईल की, पाण्याचे मांद्री-भवन हाजाना परिमैत वर्धन होतें किंवा हिमाचे तरलन होताना परिमैत न्यूनता येते १ पुज हिमाचे पाणी होताना हांगाच्या परिमाहानीच पुढीलप्रमाणे गणन करता येतें.

०° स ताप असताना हिम आणि पाणी याची घनता अनुक्रमे  $\rho_{हि}$  आणि  $\rho_{पा}$  असल्यास १ घान्य हिम आणि १ घान्य पाणी याची परिमा अनुक्रमे  $\frac{1}{\rho_{हि}}$  आणि  $\frac{1}{\rho_{पा}}$  इतकी होईल हे लक्षात येईल. यावरून, १ घान्य हिमाचे पाणी झाल्यास होणारी परिमाहानि  $\left( \frac{1}{\rho_{हि}} - \frac{1}{\rho_{पा}} \right)$  इतकी होईल. ही परिमाहानि होण्यास हिमाला ८० उप ऊष्मा मिळणे आवश्यक आहे. हिमाच्या पु, पुजाचे ०° स. ताप असलेले पाणी झाल्यास, पु,  $\left( \frac{1}{\rho_{हि}} - \frac{1}{\rho_{पा}} \right)$  इतकी परिमाहानि होईल आणि ही परिमाहानि होण्यास  $(पु, \times ८०)$  उप गुप्त ऊष्मा पु पुजाच्या हिमास मिळणे आवश्यक आहे हे लक्षात येईल.

स ताप असलेली पु पुजाची तप्त वस्तु हिमात ठेवल्यास, त्या तप्त वस्तूपासून हिमास मिळणारा ऊष्मा  $(पु \times ऊ \times त)$  उप असतो या ऊष्म्याने काही हिम वितळते हिमाच्या वितळण्याने होणारी परिमाहानि प ने दर्शविल्यास,

$$\text{वितळणाऱ्या हिमाचा पज, } पु, = \frac{प}{\left\{ \frac{1}{\rho_{हि}} - \frac{1}{\rho_{पा}} \right\}}$$

०° स. वरील द्रव्य हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० उप असल्याने, पु, हिमपुज वितळण्यासाठी लागलेला गुप्त ऊष्मा

$$पु_१ \times गा = \frac{प}{\left\{ \frac{१}{घहि} - \frac{१}{घपा} \right\}} \times ८० \text{ तप होईल.}$$

तप्त वस्तुपासून मिळणारा ऊष्मा = हिमपुत्र वितळण्यासाठी  
लागणारा गुप्त ऊष्मा

$$\text{किंवा, } पु \times क \times त = पु_१ \cdot गा$$

$$\therefore पु \times क \times त = \frac{प}{\left\{ \frac{१}{घहि} - \frac{१}{घपा} \right\}} \times ८०$$

\(\therefore\) वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा,

$$क = \frac{८०}{\left\{ \frac{१}{घहि} - \frac{१}{घपा} \right\}} \times \frac{प}{पु \cdot त} \dots \text{स. ११-१}$$

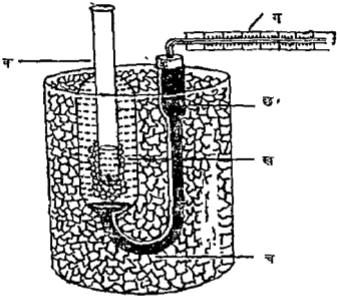
\(\left\{ \frac{१}{घहि} - \frac{१}{घपा} \right\}\) ही १ पुत्र हिमाच्या परिमाहानीची अर्हां

००१०७ घ. सि. मा इतकी असल्याने ही अर्हां वरील समीकारात  
आदिष्ट वेल्यास,

$$(\text{आपेक्षिक ऊष्मा}), क = \frac{८०}{०.०१०७} \times \frac{प}{पु \cdot त}$$

बुझनेच्या हिमउपमागाने प ही परिमाहानि परिमूढतेने  
मापना येऊन वस्तूच्या क या आपेक्षिक ऊष्माचे गणन करता येते.





आ. ११-६

बुन्सेनच्या हिमउपमानाचे रेखाचित्र आकृति ११-६ मध्ये दाखविले आहे. खालचे टोक बंद असलेली क नळी ख या रुंद रग्भावार नळीला जोडलेली असते ख नळीत विलीन वायुरहित शुद्धपाणी आणि त्यापासून क नळीच्या खालच्या पृष्ठावर झालेले काही हिम यांनी ख नळी पूर्णपणे भरलेली असते. ख च्या खालच्या भागाला आकृतीत दाखविल्याप्रमाणे च छ ही बाकविलेली अरुंद नळी असून तीत पारद भरलेला असतो. ग ही एकरूप केनालनलिका असून त्या नळीवर अथवा नळीला जोडलेल्या श्रेणीवर परिमेचे अवन केलेले असते.

प्रथम ख मधील काही पाण्याचे हिमान परिवर्तन करणे

अवश्य अमने हिमात रूपान्तर करण्याची रीति पुढील प्रमाणे आहे व मधील पाणी विलीनवायुरहित अमन्यामुळे त्याच हिमात रूपान्तर करण्यास व नळी मध्ये थोडा दक्ष (ether) घालून त्यातून भान्याच्या साहाय्याने वायु फुकताना वायुचे बुडबुडे दक्षतून जातात, दक्षूचे उद्भाषन शीघ्रतेने होतें आणि उद्भाषनाय लागणारा आवरणक गुप्त ऊष्मा व मधील पाण्यापासून मिळतो यामुळे, व मधील पाण्याच अधिगोनन हाऊन नंतर हेपा पाण्याचे हिमात रूपान्तर होऊ लागते अशाप्रकारे, व मधील काही पाण्याचे हिमात रूपान्तर होऊ लागल्यावर काही प्रहर व साधित्र माठपा हिमपात्रात ठेवून त्याचा ताप ०° स. वर स्थिर होऊ दताना यानंतर मपरीक्ष्य वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा निश्चित करण्याकरता पुढील प्रमाणे या साधित्राचा उपयोग करताना, परिक्ष्य वस्तु त या उच्च तापापर्यंत तापवून शीघ्रतेने व मध्ये सोडतात (क नळीच्या तळाशी थोडी लंकर अथवा ०° स ताप असलेल पाणी अमणें अवश्य असते, कारण वस्तु आत टाकताना नळी फुटण्याचा शभव असतो) वस्तु क नळीत टाकल्यावर त्या वस्तुपासून मिळालेल्या ऊष्माने, व मधील काही हिमाच पाणी होतें हिम वितरणाने होणारी व परिमाहानि, व या अरुन (graduated) कॅशालनलिन्नील पारदर्पुष्ठाच्या वाचनावरून ममजते. वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्माच गणन

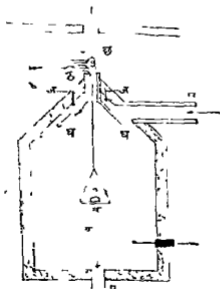
$$U = \frac{C_0}{0.0900} \times \frac{P}{P \times T}$$

या सूत्राच्या साहाय्याने वरताक तत्क वस्तूच्या आणि थोडपा प्रमाणान सापडणाऱ्या मूल्यवान वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्माने निश्चयन करण्याकरता हे साधित्र फार मोयीच आहे

### जॉलीचे प्रवाप्य उपमान (Jolly's steam calorimeter)

एक धान्य प्रवाप्याचे पाणी होताना त्यातून बाहेर पडणाऱ्या ऊष्मा राशीची परिशुद्ध अर्हा माहीत असण्यास, पुढे वर्णन केलेल्या प्रवाप्य उपमांनाच्या साहाय्याने वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे निश्चयन करता येते.

क ही धानूची दुहेरी भिती असलेली प्रवाप्य कोठी (steam jacket) असून त्याच्या बाहेरील भाग लोखरीच्या वस्त्राने झाकलेला असतो. वाष्पनातील पाण्यापासून झालेले प्रवाप्य क मध्ये ख मार्ग प्रवाहित करतात. आकृति ११-७ पाह्य. प्रवाप्य ग मार्ग बाहेर पडते. तुलेच्या



आ. ११-७

एका बाहूला जोडलेल्या छ या बारीक तारला च हे लहान पारडे अडकविलेले असते क प्रवाप्य कोठी आणि त्यातील च पारडे याचा प्रारंभिक ताप कोष्टतापाइतका असून, ह्या कोष्टतापाचे त, वाचन टिपून घेतात तुलेच्या साहाय्याने प्रथम च पारड्याचा आणि नंतर त्यावरील प वस्तूचा पुत्र निश्चित करतात. प्रवाप्याचा प्रवाह क मध्ये मंडल्यास प्रवाप्याचा क।

च, प इत्यादि शीत वस्तुंम स्पर्श होताना काही प्रवाण्याचे पाणी जेव्हा प्रवाण्याच्या गुप्त उष्म्यामुळे क, च, प इत्यादींचा ताप प्रवाण्याच्या तपापाडतका वाढतो च आणि प च्या स्पर्शामुळे प्रवाण्याचे जें पाणी होतें ते सर्व पाणी च पारड्यावरच साचतें. क मधून प्रवाण्य प्रवाहित होत असतानाच, काही क्षणानंतर तुळेच्या साहाय्याने च पारड्या वरील (प्रवाण्याच्या तरलनाने झालेल्या) पाण्याचा पु, पुज निश्चिंत करतात. प्रवाण्य सारखें प्रवाहित असल्यामुळे, पारड्यावराल पाण्याचा ताप प्रवाण्याच्या तापापेक्षा न्यून होत नाही घ या रक्षकामुळे (guard) ज भागावरील पाणी च पारड्यावर पडत नाही. छ तारे-भीवती असलेली ट ही महातूर्चा कुतलाकार वारीक तार विद्युत्प्रवाहाने रवतोष्ण स्थितीत ठेवतात यामुळे ठ या लहान छिद्रमार्गात प्रवाण्या पासून झालेले पाणी साचत नाही विद्युत्प्रवाह नगारी ट नार नमल्यास, ठ छिद्रमार्गात पाणी माघून या पाण्याच्या छ तारेवरील नलातति बलामुळे च पारड्यावरील पाण्याच्या पुत्राचे निश्चयन परिशुद्ध होऊ शकत नाही.

च पारडें आणि प वस्तु याचा ताप त, काष्ठतापापासून प्रवाण्याच्या त तापापर्यंत वाढतो च आणि प याच्या तापवर्धनास लागणारा ऊष्मा पु, पुज असल्या प्रवाण्याच्या तरलनामुळे मिळता म्हणून,

च आणि प याच्या ताप-वर्धनास लागणारा ऊष्मा = पु, पुत्राच्या प्रवाण्याचा गुप्त ऊष्मा

$\cdot$   $\text{पु} \times \text{ऊ} (\text{त} - \text{त}_1) + \text{पु}_1 \text{ऊ}_1 (\text{त} - \text{त}_1) = \text{पु}_2 \text{गा}$

वरील समीकारात प वस्तूचा पुत्र पु असून ऊ त्या वस्तूच्या आपक्षिक ऊष्मा आहे च पारड्याचा पुत्र पु, असून त्याचा आपक्षिक ऊष्मा ऊ, आहे प्रवाण्याचा गुप्त ऊष्मा ग ने दाखिला असून त्याची परिशुद्ध अर्हा माहात असल्यान पुत्रोक्त प्रमाण वस्तूच्या आपक्षिक ऊष्माचे गणन करता येतें

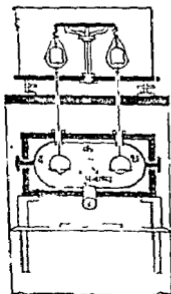
(पु, ऊ, ) ही च पारड्याची तापीय धारिता आहे या अर्हेचे एकदा सपरीक्षेने निश्चयन करून ती अर्हा पुढील निर-  
निराळ्या सपरीक्षाकरिता उपयोगात आणता येते

च पारड्यावर कांही वस्तु न ठेवता बरोलप्रमाणेच क मध्ये प्रवाण्य सोडून, च बरोल पाण्याच्या पु, पुजाचे तुळेच्या साहाय्याने निश्चयन करतात. या स्थितीत पु, पुज असलेल्या प्रवाण्याच्या तरलनाने च पारड्याला ऊष्मा मिळतो.

$$पु, . ऊ, (त - त, ) = पु, गा.$$

या समीकारात त आणि त, हा अनुक्रमे प्रवाण्याचा आणि

सपरीक्षेच्या वेळेचा बोट्टताप असून, या हा प्रवाण्याचा त ताप-  
बरोल गुण ऊष्मा आहे. बरोल समीकाराने (पु, ऊ, ) या पदमह-  
तीची अर्हा निश्चित येण्यास ती अर्हा समीकार ११-१ मध्ये आदिष्ट करून प वस्तूच्या आपे-  
क्षिष ऊष्म्याचे निश्चयन करता येत



सा ११-८

जॉलीचे प्रवाण्य भेदोपमान  
(Jolly's differential  
steam calorimeter)

पुढे वजितेच्या प्रवाण्य भेदोप-  
मानाचा उपयोग करून दातीच्या  
तिगर परिमेवगीत आपेशिष  
ऊष्म्याने गणना करता येते. आहृति

११-८ मध्ये दर्शविलेल्या क या धातूच्या दुहेरी भिती असलेल्या नोठ्या पात्रात, द आणि घ हे एकाच धातूचे, समान आकाराचे आणि समान पुजाचे दोन पोकळ गोल, तुलेच्या दोन पारड्यांना तारेने अडकविलेले असतात. द गोळामध्ये परीक्ष्य वाति उच्च निपीडावर भरलेला असून, घ गोल रिक्त असतो. क मध्ये प्रवाण प्रवाहित करण्यापूर्वी तुला समतुलित करून द मधील पु वातिपुजाचे निश्चयन करतात. त्यानंतर, क मधून प्रवाण प्रवाहित करून पूर्वी वर्णिल्याप्रमाणे तुला समतुलित करतात. यामुळे, प्रवाणाच्या तरलनाने द आणि घ या गोळावर साचलेल्या पाण्याच्या पुजातील भेद (पु<sub>१</sub>) समजतो. द आणि घ एकाच धातूचे आणि समान पुजाचे असल्यामुळे, त्यांच्या समान तापवर्धनास सांख्य उष्मा लागतो परंतु, द मध्ये भरलेल्या वातीचा ताप वाढविण्यास द वर जास्त प्रवाणाचे तरलन होत. द मधील वातीचा पुज पु असल्यास, वातीच्या स्थिर परिमेवरील आपेक्षित उष्माचे (ऊ<sub>१</sub>) गणन साठील समीकाराने करतात

$$पु \cdot ऊ_१ (t - t_१) = पु_१ \cdot गा$$

यात त<sub>१</sub> हा प्रारम्भिक कोष्ठताप आहे

### प्रश्न

(१) एका उपमानात ५०० घान्व पाणी असून या पाण्याचा ताप ०°C आहे. ५०°C ताप असलेला १०० घान्व लोखंडाचा तुकडा या पाण्यात टाकला असून, पाण्याचा ताप ०°C वर स्थिर ठेवण्यास या पाण्यात हिमाचा किती अन्य पुज टाकावा लागेल ?

(हिमाचा गुण उष्मा ८० उप लोखंडाचा आपेक्षित उष्मा ०.११)

(२) एका हिम-उपमानाच्या नळीचा व्यास ०.४ सि मा आहे. ०°श ताप असलेल्या हिमाची घनता ०.९ अमून हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० आहे. या उपमानास १० उष ऊष्मा दिल्याम केशालनळीतील पारदाच्या पृष्ठाचे विस्थापन किती होईल ?

(३) - १०°श ताप असलेल्या १० घान्य हिमाचे १००°श ताप असलेल्या प्रवाण्यान रूपान्तर करण्यास अवश्य अमणाऱ्या ऊष्माचे गणन करा. हिमाचा आपेक्षिक ऊष्मा ०.५, हिम आणि प्रवाण्य याचा गुप्त ऊष्मा अनुक्रम ८० उष आणि ५३६ उष आहे.

(४) १००°श ताप असलेली ५ घान्य पुजाची असलेली वस्तु हिम-उपमानांत टाकल्यास हिमाच्या वितळण्याने परिमाहानि ०.०५ घ सि. मा इतकी होते ०°श पाण्याचे हिम होताना, परिमा  $\frac{1}{2}$  या प्रमाणात वाडते अम मानून वस्तूचा आपेक्षिक ऊष्मा गणन करा (हिमाचा गुप्त ऊष्मा ८० उष)

(५) गुप्त ऊष्माचा उपयोग केलेल्या एका उपमानाच वर्णन करून त्याच्या साहाय्याने वस्तूच्या आपेक्षिक ऊष्माच वन निश्चयन करतात याच विषयन करा

(६) हिम-उपमान आणि प्रवाण्य-उपमान याच्या उपयोगान विरोध लाभ कोणते आहेत ?

(७) प्रवाण्य भदापमानाच्या उपयोगाने वातीच्या स्थिर परिमा-स्थितीतील आपेक्षिक ऊष्मा वसा निश्चयन करतान हें सविस्तर लिहा.

(८) दान हिम राग्ट परमरांवर दाडून त्याचा एक घाट

होऊ शकतो ही घटना स्पष्ट करा. वरील घटनेची दुसरी उदाहरणे द्या.

(९)  $100^{\circ}$  म. ताप असलेला १० घान्य धातुखण्ड हिम उपमानात टाकल्यास केशालनळीत पारदपृष्ठ ४ भाग विस्थापित होतो. ह्याच उपमानात  $30^{\circ}$  म. ताप असलेले १५ घान्य पाणी टाकल्यास केशालनळीतील पारदपृष्ठ १८ भाग विस्थापित होतो. ह्यावरून धातुखण्डाचा आपेक्षिक ऊष्मा कित्ती असावा ?



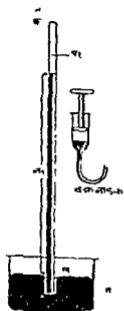
## वाष्प-निपीड

तरलाचे वातीय अवस्थेत होणारे स्थित्यंतर अनेक भिन्न तापावर होतं. उदाहरणार्थ, एखाद्या पात्रातील पाणी उन्हाळ्यात तसेच हिवाळ्यातहि हळूहळू वातिरूपात नाहीसे होणे अशा रीतीने तरलापामून वातीय अवस्थेत रूपांतर होणाऱ्या घटनेस 'उद्वापन' (evaporation) ही मजा आहे. वातीय अवस्थेत गेलेले हें तरलद्रव्य वापरस्थितीत आहे असेहि म्हणण्याचा प्रघात आहे

उद्वापनाच्या अभ्यासात असे दिसून आले आहे की, तरलाच्या मुक्तपृष्ठाचे क्षेत्रफळ जास्त असल्यास तरलाचे उद्वापनहि क्षेत्रफळाच्या प्रमाणात वाढतं. तरलाच्या पृष्ठावरून वायु प्रवाहित वेल्यास अथवा तरलाचा ताप वाढवित्यास उद्वापनाची क्रिया जास्त शीघ्रतेने होते तरलाचे वाति-स्थितीत होणारे स्थित्यंतर तरलाच्या पृष्ठभागातच होत एका विशिष्ट मर्यादेइतका तरलाचा ताप झाल्यानंतरहि त्यास आणखी ऊष्मा मिळाल्यास, ताप स्थिर राहून तरलाच्या सर्व भागातून बुडबुडे निघू लागतात आणि त्याने वऱ्याच शीघ्रतेने वातीय अवस्थेत रूपांतर होत या स्थितीत तरल उबळते अग म्हणतात ज्या स्थिरतापावर तरल उबळत त्या तापामे तरलाना 'बुडबुडाव' (boiling point) अशी मजा आहे

### तरलाचे वाष्प निपीड

भिन्न भिन्न तापस्थितीत तरलाचे वाष्पनिपीड पुढीलप्रमाणे



आ १२-१

मापना घेतें. क टोक वर असलेली कव्व ही समरूप नळी पारदाने पूर्णपणे भरल्यावर नळी उलटी करून तिचे उघडें असलेले ख टोक ग या पारदाशयात बुडविलेले अमने (आकृति १२-१ पाहा) या स्थितीत नळीतील काही पारद पारदाशयात साडून, नळीतील पारदस्तम्भाची उची वायुमण्डलीय निपीट दर्शविते. पारदाशयातील पारदाच्या मुक्त पृष्ठा स्थलील म्र या उघड्या टोकानून एका वक्रनाडकाच्या (curved pipette) साहाय्याने कव्व नळीत घोडा दक्षु (ether) सोडल्यास, नळीतील पारदपृष्ठावर दक्षुगुलाचे बिन्दु पोचताच दक्षुचे शीघ्र उद्वापन होते, आणि कव्व मधील पारदस्तम्भाची उची घोडी न्यून होते या स्थितीत,  $n_1$  ही कव्व मधील पारदस्तम्भाची उची असून वायुमण्डलीय

निपीटाची अर्हा पारदस्तम्भाच्या ना उचीने दर्शविल्यास,

$$n_1 + \text{नळीतील दक्षुवाण्याचे निपीट} = \text{ना}$$

$$\therefore \text{दक्षुवाण्याचे निपीट} = (\text{ना} - n_1)$$

ना आणि  $n_1$  यांच्या अर्हा मपरीक्षेने मापन केव्हास दक्षुवाण्याच्या निपीटाची अर्हा निश्चिन करता येत कव्व नळी पारदाशयात जास्त खोल बुडविल्यास नळीतील पारदपृष्ठावरील

दक्षुवाष्पाची परिमा न्यून होते. अशा रीतीने समताप स्थितीत दक्षुवाष्पाची  $p_1, p_2$  परिमा काही विशिष्ट मर्यादेपर्यंत परिवर्तित करून तत्संबंधी  $(n_1 - n_2), (n_2 - n_3)$  वाष्प-निपीडाचे गणन केल्यास असे दिमून येते की,

$$(n_1 - n_2) p_1 = (n_2 - n_3) p_2 = (n_3 - n_4) p_3 \dots\dots$$

वरील समीकारावरून असे दिसते की, काही विशिष्ट मर्यादेपर्यंत वाष्पाचा समताप स्थितीतील निपीड-परिमासंबंध बाईलच्या स. ता. प. नि. नियमाने दर्शविता येतो. वरील परिमा परिवर्तनाची मर्यादा काय असते हे पुढील विवेचनावरून लक्षात येईल.

नाडकांतून वरून नळीत जास्त दक्षु सोडल्यास, वरून मधील पारदस्तम्भाची उंची काही मर्यादेपर्यंत न्यून होत जाते यानंतर, वरून मध्ये आणखी जास्त दक्षु प्रविष्ट केल्यास, नळीतील पारदपट्टावर आलेल्या तरलाचे उद्‌वाष्पन होत नाही. आणि वरून मधील पारदस्तम्भाची उंची स्थिर राहते. ही स्थिर अर्हा  $n'$  अमून नळीतील दक्षुवाष्पाचा ताप त असल्यास,  $(n - n')$  हे दक्षुवाष्पाचे त तापावरील भूयिष्ठ वाष्प-निपीड (maximum vapour pressure) असते या स्थितीतील दक्षुवाष्प अनुविद्ध (saturated) स्थितीत आठे अने म्हणतात. पर्यायाने दक्षुवाष्पाने व्यापलेली परिमा दक्षुवाष्पाने अनुविद्ध आहे असेहि म्हणण्याचा प्रपान आहे

(१) अनुविद्ध दक्षुवाष्पाची परिमा समतापावर सर्वोचित केल्यास काही वाष्पाचे संपनन (condensation) होऊन उरलेल्या परिमैतील दक्षुवाष्पाचे निपीड पूर्वी इतकेच म्हणजे भूयिष्ठ वाष्प-निपीडाइतकेच स्थिर असते.

(२) अनुविद्ध दधुवाष्पाची परिमा समताप स्थितीन वाडविल्यास या वाष्पाचे निपीड न्यून होत आणि या दधुवाष्पाची परिमा आणि त्याचे निपीड याचा सबध बाँईलच्या स. ता प. नि. नियमाने दर्शविता येतो.

(३) निपीड स्थिर ठेवून अनुविद्ध स्थितीतील दधुवाष्पाचा ताप वाडविल्यास, या वाष्पाचे परिमावर्धन चार्ल्सच्या वाणि-परिमावर्धन नियमा प्रमाणे होते.

(४) कस नळीचा नाप वाडवून दधुवाष्पाच्या निपीडाचा अभ्यास केल्यास दिमून येत की, वाटलेल्या ताप स्थितीत या वाष्पाचे भूयिष्ठ निपीडहि वाडलेले असते.

कस नळीत दधु न घालता दुसरे एखादे मिश्र तरल प्रविष्ट केल्यास, बाह्ये मयदिपर्यंत ( अनुविद्ध स्थिति येईपर्यंत ) या तरलाच्या वाष्पाचा परिमा, निपीड आणि ताप या तिन्हीचा सबध बाँईलच्या ( स. ता प नि. ) आणि चार्ल्सच्या ( वाति परिमा वर्धन ) नियमाने दर्शविता येता. या तरलाच्या अनुविद्ध स्थितीतील वाष्पनिपीड हे त्या तापावरील या तरलाचे भूयिष्ठ वाष्पनिपीड हाय.

मिश्र तरलाच्या वाष्पनिपीडाच्या ( बरोलप्रमाणे केलेल्या ) अभ्यासाचा निष्कर्ष पुढील नियमाने दर्शविता येतो.

(१) विविध तापावर तरलाच्या वाष्पनिपीडाची अर्हा बाह्ये मयदिपर्यंतच वाडू शकते. या महत्तम वाष्प-निपीडाम, त्या तापावरील त्या तरलाचे ' भूयिष्ठ वाष्प-निपीड ' ही सजा बाह्ये मिश्र मिश्र तरलाचे समतापावरील भूयिष्ठ वाष्पनिपीड मिश्र असते

(२) तरलाचे वाष्पनिपीड भूयिष्ठ वाष्पनिपीड असल्यास, न

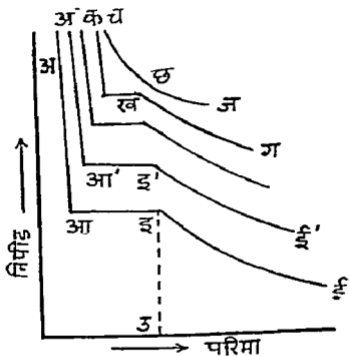
वाष्प अनुविद्ध स्थितीत आहे असे म्हणतात समताप स्थितीत वाष्पाची परिमा न्यून करून अथवा स्थिर परिमेत जास्त तरल प्रविष्ट करून तरलवाष्प अनुविद्ध स्थितीत आणता येते.

(३) समताप स्थितीत अनुविद्ध वाष्पाची परिमा वाढविल्यास होणारे निपीड परिवर्तन बॉईलच्या स ता प नि नियमानुसार होते. या स्थितीतील तरलवाष्प 'अनुविद्ध स्थितीत' आहे असे म्हणतात.

(४) अनुविद्ध स्थितीतील वाष्पाचे निपीड स्थिर ठेवून त्याचा ताप वाढविल्यास वाष्प अननुविद्ध स्थितीत येऊन त्याचे परिमा परिवर्तन चार्ल्सच्या वाति परिमा वर्धन नियमाप्रमाणे होते.

(५) अननुविद्ध (unsaturated) वाष्पाची परिमा, त्याचे निपीड आणि ताप यांचा परस्पर संबंध बॉईलच्या (स ता. प नि) आणि चार्ल्सच्या (वाति परिमा वर्धन) नियमानी दर्शविता येतो

तरल आणि त्याचे वाष्प यांचा समताप स्थितीतील परिमा-निपीडसंबंध एकाच बिन्दुरेखेने दर्शविण्याचा प्रघात आहे. आकृति १०-० पाहा अ आ इ ई या समताप वक्रावरील (isothermal curve) इ ई भागाने अननुविद्ध वाष्पाची परिमा आणि त्याचे निपीड यांचा संबंध दर्शविला आहे. ड या बिन्दूने दर्शविलेल्या स्थितीतील इ उ इ वाष्पाचे त्या तापावरील भूषिष्ठ निपीड होय. इ भा या भागाने भूषिष्ठ निपीड असल्या अननुविद्ध वाष्पाचे गघनमान हाणार् परिमा सबोचन दर्शविले आहे इ गघनन होताना इ आ या भागातील निपीड स्थिर असते आ बिन्दूने दर्शविलेल्या स्थितीत सर्व वाष्पाचे गघनमाने तरल झाले असून या तरलाची परिमा न्यून करण्यास निपीड वरचे वाढवावे लागत हैं आ अ या भागाने दर्शविले आहे अ आ इ ई हा त्याच तरल पुजाचा जास्त

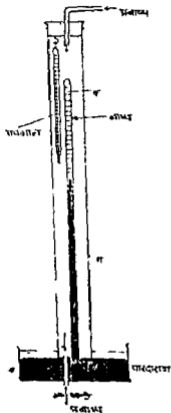


आ. १२-२

तापावरील समतापवक्र आहे या ब्रह्मदधी जास्त विवेचन याच प्रकरणात पुढे केले आहे.

### वाष्प-घनता (vapour-density)

वाष्पाचा पुत्र आणि याच वाष्पाइतकी परिमा, निपीड आणि ताप असलेल्या वायुचा पुत्र या दोहोच्या निपत्तीला 'वाष्प-घनता' म्हणण्याना प्रधान आहे. म्हणजे वाष्पाची घनता ही एका अर्थात सापेक्ष घनता आहे असे म्हणता येईल.



आ. १२-३

एक लहान काचेची कूपी तरलाने पूर्ण भरतात. या कूपीला काचेची पिधा बसवून कूपीतील तरलाच्या पुजाचे निश्चयन करतात. परिमेचे अन्न केलेल्या कख ह्या एकरूप नळीत पारद भरून तो ग पारदशयात उलटो केलेलो असते. (आकृति १२-३ पाहा). क भोवनो घ या जास्त रुद नळीचे समावरण अमून त्यातून प्रवाण प्रवाहित करता येते तरलाने भरलेली लहान कूपी म्ह मार्गे कख नळीत प्रविष्ट केल्यास ती कख नळीतील पारदस्तम्भाच्या पृष्ठावर येते. क भागातील निपीड अत्यंत अन्न असल्याने पिधा उघडली जाऊन कूपीतील तरलाचे शीघ्र उद्वापन होते आणि हे वाष्प पारदस्तम्भावरील परिमा व्यापने यामुळे कख च्या पारदस्तम्भाची उंची न्यून होते. ग मधून प्रवाण प्रवाहित करून कख चा ताप स्थिर झाल्यावर कख मधील पारद-

स्तम्भाची उंची मापतात ग तापमानावरील स्थिर तापाचे वाचन आणि त्यापयरोवर नळीतील वाष्पाच्या परिमा अवनान वाचन टिपून घेतात.

वाष्पाचे निपीड + कख मधील पारदस्तम्भाची उंची =  
[ वाष्पमण्डलाचे निपीड

वरील भूनाच्या साहाय्याने वाष्पाच्या निपीडाचे गणन करतात. याच निपीडावरील आणि समान ताप असलेल्या तेवढ्याच परिमेच्या वायूचा पुज गणन करता येतो. वाष्पाचा पुज आणि वायूचा पुज या दोहोच्या निष्पत्तीवरून वाष्प-घनता निश्चित करतात. अनेक तरलांच्या वाष्पघनता निश्चित केल्यावर असे दिसून आले आहे की, वाष्प-घनता वाष्पद्रव्याच्या व्यूहाण्विक भाराची (molecular weight) अनुपातित असते. रसायनिक द्रव्यांचे वाष्पन करणे शक्य असल्यास त्या वाष्पाची उद्जनाशी सापेक्ष घनता निश्चिन करून या द्रव्याच्या व्यूहाण्विक भाराचे गणन करणे शक्य असते.

### बुद्बुदांकावरील भूयिष्ठ वाष्प निर्पाड

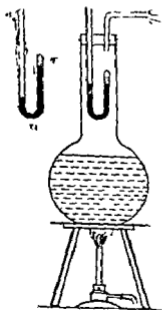
मागील परिच्छेदात वर्णिलेल्या क्व नळीत (आकृति १२-३ पाहा) ब्रसनाडकाने पुरेमे पाणी प्रविष्ट करून ग मधून प्रवाप्य प्रवाहित करताना, क्व मधील पारद घ पारदाशयात पुणपणे उतरतो आणि क्व आणि घ मधील पारदपृष्ठाल एकाच समतलान येतात. क्व नळीतील पाण्यापमून झालेल्या वाष्पाचे निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइतके आहे हे यावरून लक्षात येईल. समावरणानून प्रवाप्य प्रवाहित हान असल्याने क्व नळीतील पाण्याच्या वाष्पाचा ताप पाण्याच्या बुद्बुदाचा इतरा आहे यावरून, बुद्बुदाकावरील पाण्याच्या वाष्पाचे भूयिष्ठ निपीड वायुमण्डलीय निपीडाममान असून असे दिसून येईल.

क्व नळीत पाणी प्रविष्ट न करता दुसर एखादे पुरेम (अनुबिद्ध स्थिति घेण्याइतके) तरल प्रविष्ट करावे. वायुमण्डलीय निपीडावर उबळणाऱ्या ह्याच तरलाचे वाष्प ग समावरणानून प्रवाहित केल्यास नळीतील पारदपृष्ठ पारदाशयातील पारदपृष्ठाच्या



समतलात येतो यावरून, तरलाच्या बुद्बुदाकावरील भ्रूयिष्ठ वाष्पनिपीड हे बाह्य निपीडाइतके असते असा वरील सपरीक्षेचा निष्कर्ष दिसतो.

तरलाचा बुद्बुदाक आणि त्याचे भ्रूयिष्ठ निपीड याचा सवध पुढील साध्या सपरीक्षेने सिद्ध करता येतो. आकृति १२-४ (अ) मध्ये दर्शविलेल्या कखग या ऊर्ध्ववाहूनळीचे क टोक बंद असते. कख ह्या वाहूपेक्षा खग हा वाहू जास्त लांब असून ग कडील त्याचे टोक उघडें असते. प्रथम उघड्या टोकाकडून नळीत पारद घालून नळी अभिनत करून कख भाग पारदाने पूर्ण भरतात त्यानंतर ग द्वारे नळीत थोडे पाणी घालतात. कखग नळी अभिनत करून कख मधील पारदस्तम्भावर पुरेस पाणी मेळू देतात कोष्ठ-तापावर कख मधील पाण्याची स्पर्शित असलेल्या पारदपृष्ठतलाची उंची, खग वाहूमधील पारदस्तम्भा-पेक्षा जास्त असते. नंतर कखग ही नळी पृषित्वक्षेतून (rubber cork) एका रूद तोडाच्या चवूत ठेवतात (आकृती १२-४ आ पाहा).



आ १२-४ (आ)

पृषित्वक्षेत्राच्या दुसऱ्या छिद्रात द्रववि-लेल्या लहान नळीतून चवूत उक्ळ-णाऱ्या पाण्याचे वाष्प बाहेर पडू नकने. चवूतील पाणी तापून

उकळू लागताच, क मधील काही पाण्याचे वाष्प होतं आणि दोन्ही बाहूतील पारदपृष्ठ समतलात येतात. खग मधील पारदपृष्ठावर वायुमण्डलीय निपीड जसल्याने क मधील बुद्बुदाकावरील प्रवाण्याचे मूयिष्ठ निपीड वायुमण्डलीय निपीडासमान आहे हे यावरून सिद्ध होतं. कस मध्ये पाण्याव्यतिरिक्त दुसरे तरल प्रविष्ट करून, तेच तरल चवूत उकळल्यास वर वर्णन केलेलेंच घटना दृष्टीस पडते. यावरून, तरलाच्या बुद्बुदाकावरील वाष्पाचे मूयिष्ठ निपीड हे वायुमण्डलीय निपीडाइतके असतं असे दिसून येईल.

तरलाच्या बुद्बुदाकावरील मूयिष्ठ वाष्प-निपीड हे वायुमण्डलीय निपीडा इतके म्हणजेच तरल पृष्ठावरील वाह्य-निपीडा इतके असते ही घटना पुढीलप्रमाणे दर्शविता येईल तरलाचा ताप वाढवीत असता त्याचे मूयिष्ठ वाष्पनिपीड हे वाह्य (वायुमण्डलीय) निपीडाइतके होनाच तरल उकळू लागते ही घटना पुढील वेगळ्या संपरीक्षेवरून दाखविता येते.



या १२-५

एका चवूतील पाणी तापवून घोडा वेळ उकळू या पाणी उकळत असताना चवूचे ताप घुयित्वधेने बदल करून चवू आरुति १२-५ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे म्यामावर उरता ठेवा पाणी उकळत असतं त्या पाणून झालेल्या प्रवाण्याने चवूतील वायु बाहेर सोडला जाऊन, पाण्यावरील परिमा प्रवाण्याने पूर्णतः म्यापलेली असते. या स्थितीत जेव्हा चवूत घुयित्वका बदलिताने जेव्हा चवूतील पाण्यावर वेळ

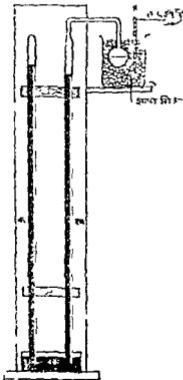
प्रवाष्पच असते स्थाभावर उलटा ठेवलेल्या चवूचा ताप बराच न्यून झाल्यावर चवूवर थोडे शीत पाणी टाकनाच चवूतील पाणी कोष्ठ-तापावर उकळू लागते. शीत पाणी टाकल्यानंतर चवूतील काही प्रवाष्पाने सघनन होऊन, त्याच्या निपीडात हानि होते अशा रीतीने चवूतील पाण्यावरील वाष्पनिपीड (वाह्यनिपीड) न्यून झाल्याने, पाण्याच्या बुद्बुदाकानि हानि होऊन कोष्ठतापावर पाणी उकळू लागते. यावरून, तरलाचा बुद्बुदाक तरलावरील वाह्य निपीडावर अवलंबून असतो हे लक्षण येईल.

समुद्रसपाटीपामून जसजम वर जावे तसतशी वायुमण्डलीय निपीडात हानि होणे. पर्वत शिखरावरील वायुमण्डलीय निपीड समुद्र-सपाटीवरील निपीडापेक्षा न्यून असल्याने तेथे पाण्याचा बुद्बुदाक  $100^{\circ}$  सा पेक्षा न्यून अमती पर्वतशिखरावरील वायुमण्डलीय निपीड माहीत असल्यास, समुद्रसपाटीपामून स्पष्टाची उंची आणि वायु-मण्डलीय निपीड याचा सवय दर्शविणाऱ्या सूत्राच्या साहाय्याने समुद्रसपाटीपामून पर्वतशिखराच्या उंचीचे गणन करता येत. पर्वत-शिखरावरील वायुमण्डलीय निपीड वापोडमानाने प्रत्यक्ष न मापता त्या स्पष्टी बुद्बुदाकाचे निश्चयन करतात या बुद्बुदाकावरील भ्रूयिष्ठ वाष्पनिपीड मारणीवरून सगजत पाणी उकळत असता प्रवाष्पाने भ्रूयिष्ठ वाष्प निपीड वायुमण्डलीय निपीडाहूनच असल्याने मारणीतील भ्रूयिष्ठ वाष्पनिपीडाने त्या स्थानाच्या वायुमण्डलीय निपीडाची अर्हा समजते आणि त्यावरून निपीड आणि उंची याचा सवय दर्शविणाऱ्या सूत्राने साहाय्याने पर्वत शिखराच्या समुद्रसपाटी-पामून उंचीचे गणन करता येत.

### विलयनाचे वाष्प-निपीड

वाह्य निपीड १२-१ मध्ये दाखविलेल्या कस नळीत लयन (Sol.)

विलयन केलेले पाणी वर नाडकाच्या माहाय्याने प्रविष्ट वेन्स, पारदस्तम्भाच्या उर्ध्वत थोडी हानि होणे. कस नटोत पुरेमे विलयन प्रविष्ट करून या विलयनाच्या भूमिष्ठ वाष्पनिपीडाचे गणन करता येते. ह्या अभ्यासात अमे दिमून आले आहे की, विलयनाचे भूमिष्ठ वाष्पनिपीड शुद्ध विलेयकाच्या ममतापावरील वाष्पनिपीडापेक्षा थोडे न्यून असते. विलयनाचा बुदबुदाक शुद्ध विलेयकाच्या

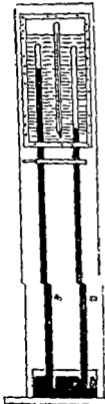


या १२ ६

बुदबुदाकापेक्षा थोडा जास्त असतो या घटनेचे अमे स्पष्टीकरण देता येईल की, शुद्ध विलेयकाचे भूमिष्ठ वाष्पनिपीड काही विनिष्ट तापावर (शुद्ध विलेयकाच्या बुदबुदाकावर) वायुमण्डलीय निपीडाइतके होनाच विलेयक उकळू लागतो तथापि, ह्याच तापावरील विलयनाचे भूमिष्ठ वाष्पनिपीड विलेयकाच्या भूमिष्ठ वाष्पनिपीडापेक्षा न्यून असल्याने ह्या तापावर (म्हणजेच विलेयकाच्या बुदबुदाकावर) विलयन उकळू शकत नाही विलयन उकळू लागण्याकरता त्याचे भूमिष्ठ वाष्पनिपीड वाह्य (वायुमण्डलीय) निपीडाइतके असणे पाहिजे म्हणून विलयनाचा बुदबुदाक शुद्ध विलेयकाच्या बुदबुदाकापेक्षा थोडा जास्त असतो

## भूयिष्ठ वाष्पनिपीडाचें निश्चयन

(१) अल्प तापक्षेत्रात तरलाच्या भूयिष्ठ वाष्पनिपीडाचे निश्चयन पुढील प्रमाणे करतात. टोके बंद असलेल्या क आणि ख ह्या दोन एकरूप नळ्यां अमून क मधील पारदस्तम्भाच्या



आ. १२-७

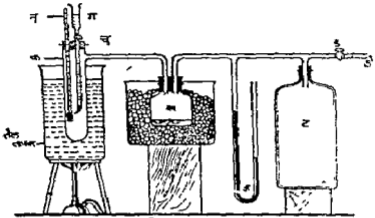
श्राचनाने वायुमण्डलीय निपीड समजते (आकृति १२-६ पाहा). ख नळीचा वरचा भाग वाकवून त्याला एक कन्द जोडलेला असतो या कन्दात परीक्ष्य तरल असून हा कन्द श्यानमिश्रणात ठेवलेला असतो श्यानमिश्रणाच्या तापावरील ख कन्दातील तरलाचे भूयिष्ठ वाष्पनिपीड क आणि ख चामधील पारदस्तम्भाच्या उंचीतील भेदाइतके असते. श्यान मिश्रणाच्या तापात थोडें परिवर्तन करून परीक्ष्य तरलाच्या अनेक भिन्न परतू अल्प ताप स्थितीतील भूयिष्ठ वाष्पनिपीडाचे निश्चयन करता येते.

(२) सामान्य तापक्षेत्रात भूयिष्ठ वाष्पनिपीडाचे निश्चयन पुढील साधनाच्या माहाय्याने करता येते. आकृति १२-७ मध्ये क आणि ख ह्या दोन एकरूप नळ्यात पारद असून क नाडकाच्या माहाय्याने ख नळीत पुरसे परीक्ष्य तरल प्रविष्ट करतात क नळीमधील पारदस्तम्भाची उंची वायुमण्डलीय निपीड दर्शविने क आणि ख नळ्याच्या भोवतीच्या जलतापनाचा ताप योग्य रीतीने

परिवर्तित करून विशिष्ट तापावर ल मधील तरलाचे भूयिष्ठ वाष्पनिपीड क आणि ल मधील पारदस्तम्भाच्या उंचीतील भेदावरून गणन करता येत परिगुडनेच्या दृष्टीने क आणि ल मधील पारदस्तम्भाच्या उंचीतील भेद  $0^{\circ}$  म. तापावरील पारदस्तम्भाने दाखविणे अवश्य असते भूयिष्ठ वाष्पनिपीड निश्चयनाच्या वरील रीतीस 'स्थैतिकीय रीति' (statical method) म्हणतात

(३) बुदबुदाकाजवळील तापक्षेत्रात तरलाच्या भूयिष्ठ वाष्पनिपाडाचे निश्चयनात पुढील प्रनियमाचा उपयोग करतात तरल उकळत असताना, तरलाचे भूयिष्ठ वाष्प निपीड तरलावरील बाह्य निपीडाइतके असत यावरून, बाह्यनिपीड मादून त्या निपीडावरील तरलाचा बुदबुदाक निश्चित केव्हास, त्या बुदबुदाकावरील भूयिष्ठ वाष्पनिपीड समजत तरलाच्या बाह्य निपीडात आवश्यक परिवर्तन करून, मिश्र मिश्र बाह्यनिपीडावर तरलाचा बुदबुदाक निश्चित करतात ह्या रीतीला 'प्रवेगिकीय (d)ynamical) रीति' असे म्हणतात रॅम्से आणि यंग या शास्त्रज्ञानी उपयोगात आणलेल्या साधनाच चित्र आकृति १२-८ मध्ये दर्शविल आहे

क या जाड काचेच्या परिष्कृत त तापमान आणि ग ही विशिष्टपिढा असलेली श्रृंगाल निवापाची नळी तापमानानिक्कट बसविलेली असते तापमानाच्या कन्दाभावती थोडा कापूस गुडाळलेला असून, श्रृंगाल निवापाच खालचे टोक थोडे वाकवून तापमानाच्या कन्दाजवळ आणलेले असत क नळी रंग तापनात (oil bath), ठेवून, तिचा ताप वाढवता येता श्रृंगाल निवापात टाकलेले संपरीक्ष्य तरल ग नळीच्या टोकातून कापसावर थोडे थोडे झिरपत असते या तरलाचे बाष्पस्थितीत रपातर होऊन ह वाष्प आकृति १२-८ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क नळीद्वारे र्यान मिश्रणात ठेवलेल्या, काचेच्या मोठ्या परिमच्या ल कूपीत येत या पात्रात त्या वाष्पाच सघनन होत ज या निपीडामानान



आ. १२-८

वायुमण्डलीय निपीड आणि साधित्रातील वायूचे निपीड यातील भेद समजतो. वायुमण्डलीय निपीड माहीत असल्याने, साधित्रातील वायूच्या निपीडाचे गणन करता येते.

क, ख इत्यादींच्या, घटित्वशातून साधित्रातील वायु वदाचित् बाहेर येत असल्यास, सपरीशेच्या अल्पावधीत साधित्रातील वायूच्या निपीडात परिवर्तन होते. त्वशा इत्यादीतून बाहेर येणाऱ्या वायूची परिमा साधित्रातील वायूच्या परिमेच्या मानाने घरीच अल्प असल्यास थर सांगितलेले निपीडपरिवर्तन उपेक्षणीय असते. म्हणून या साधित्रात ट या भोठ्या परिमेच्या पात्राची योजना केलेली असते. ट नळीचे टोक वातचूषोदचाला अथवा संपीडकाला (compressor) जोडून, साधित्रात वायूच्या निपीडाची द्रष्ट अर्हा मोजता येते. त्यानंतर, ङ ही तोटी फिरवून साधित्रातील वायु वदिरत करता येतो. तेल तापनाचा ताप वाडवून, क नळीचा ताप वाडवित्ता येतो. क मधील

तापमानाचे वाचन ज्या तापावर स्थिर होणे तो ताप न मधील परीक्ष्य तरलाचा साधित्रातील वायुनिपोडावरील बुद्बुदाक समजावा, कारण तापमानातून तरलाला बराच ऊर्ष्या मिळून असूनहि, त्याचा ताप न वाढता स्थिर तापावर तरलाचे उदाप्यन चालू असते. या स्थितीत, तरलाचे भूयिष्ठ वाष्पनिपोड आणि साधित्रातील वायूचे निपोड ही दोन्ही तुल्य असलीच पाहिजेत अर्थात् साधित्रातील वायूचे निपोड त तापमानाने दर्शविलेल्या स्थिर तापावर, परीक्ष्य तरलाच्या भूयिष्ठ वाष्पनिपोडा इतके असते हे सहज लक्षात येईल. साधित्रातील वायुनिपोडात परिवर्तन करून तापमानाची तत्संबधी स्थिर तापवाचने घेतात. अशा रीतीने मिश्र मिश्र ताप-स्थितीतील परीक्ष्य तरलाच्या भूयिष्ठ वाष्पनिपोडाचे निदर्शयन करता येते

### डाव्हन्चा आंशिक निपोड नियम (law of partial pressures)

वाति आणि वाष्प यांच्या मिश्रणातील एका घटकाचे समतापावर स्वतंत्र स्थितीत मिश्रणाच्या परिमेइतकीच परिमा व्यापिली असता त्याच जें निपोड हार्दल्या निपोडास त्या घटकाचे 'आंशिक निपोड' (partial pressure) म्हणतात मिश्रणातील वाति आणि वाष्प यांची परस्परवादर रसायनिक क्रिया होत नसल्यास, घटकाच्या या आंशिक निपोडाच्या मिळवणी (sum) इतके मिश्रणाचे निपोड असते उदाहरणार्थ, घटकाचे आंशिक निपोड अनुक्रमे  $n_1, n_2, n_3, \dots$  असल्यास, वाति आणि वाष्प यांच्या मिश्रणाचे (न) परिणामी निपोड खालील सूत्राने दर्शविता येते

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots \quad \dots \quad (स १२-१)$$

वाति आणि वाष्प यांच्या मिश्रणाच्या निपोडासंबधी वरील नियमानु डाव्हन्चा 'आंशिक निपोड नियम' म्हणतात



मिश्रणाच्या निपीडासबंधी डाल्टन्चा वरील नियम काही मर्यादितच सत्य आहे. हा आशिक निपीड नियम सर्व परिस्थितीत सत्य असल्यास, अनेक भिन्न वाति आणि वाष्पद्रव्ये एका विशिष्ट परिमैत प्रविष्ट करून या मिश्रणाचे निपीड हवे तितके वाडविना येणे शक्य झाले असते. परंतु ही घटना शक्य कोटीतील नाही हे लक्षात येईल. पुढील संपरीक्षेने आशिक निपीड नियमाची प्रचिती घेता येते.

क या पारद वापीडमानात (आकृति १२-१ पृ. २९४ पाहा). वक्रनाडकाच्या साहाय्याने थोडा वायु प्रविष्ट करावा. हा वायु पारद-स्तम्भाच्या वर येऊन, पारदावरील नळीतील सर्व परिमा व्यापतो आणि त्याच्या निपीडाने पारदस्तम्भाची उची न्यून होते क मधील पारदस्तम्भाची उची न<sub>१</sub> असून वायुमण्डलीय निपीड ना असल्यास (ना-न<sub>१</sub>) हें क मधील वायूचे निपीड असते क नळीचा अनुप्रस्थ छेद क्ष असून पारदस्तम्भावरील नळीच्या भागाची उची ल असल्यास, (ल × क्ष) ही क मधील वायूची परिमा आहे हें लक्षात येईल.

या स्थितीत, वक्रनाडकाच्या साहाय्याने क नळीमध्ये पुरेसा दक्षु सोडल्यास पारदस्तम्भावरील परिमा दक्षुवाष्पानें अनुविद्ध होऊन पारदस्तम्भाची उची न<sub>२</sub> होते. आशिक निपीड नियमान्वये,

$$(ना - न_२) = \text{दक्षुवाष्पाचे अनुविद्ध स्थितीतील निपीड} + \text{मिश्रणातील वायूचे निपीड न}$$

$$\therefore (ना - न_२) - न' = \text{दक्षुवाष्पाचे अनुविद्ध स्थितीतील निपीड}$$

. स. १२-२

क मधील दक्षुवाष्प अनुविद्ध स्थितीत असता पारद-

पृष्ठावरील नळीची उंची  $l_2$  असल्यास, मिथुणाची परिमा (  $l_2 \times \rho$  ) इतकी असते. वायू आणि दक्षुवाष्प यांचे मिश्रण समतापावर केले असल्याने, वायूचे परिमा परिवर्तन बॉईलच्या स. ता. प. नि. नियमा प्रमाणे होते.

$$\therefore (n_1 - n_2) (l_1 \cdot \rho) = n' (l_2 \cdot \rho)$$

$$\therefore n', (\text{मिथुणातील वायूचे आंशिक निपीड}) = (n_1 - n_2) \frac{l_1}{l_2}$$

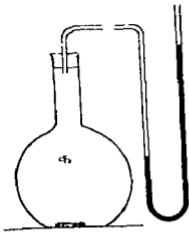
$n'$  ची वरील अर्हा समीकार १२-२ मध्ये आदिष्ट केल्यास,

$$(n_1 - n_2) - \frac{(n_1 - n_2) l_1}{l_2} = \text{दक्षुवाष्पाचे अनुबिंद स्थिती-}$$

[तील निपीड.]

संपरीक्षेतील मापनाने वरील समीकाराच्या डाव्या पक्षाची गणन केलेली अर्हा, सारणीत दर्शविलेल्या संपरीक्षेतील तापावरील दक्षुतरलाच्या भूयिष्ठ वाष्पनिपीडाइतकी असते. ही गणन केलेली भूयिष्ठ निपीडाची अर्हा आंशिक निपीड नियमाधारे असल्याने आंशिक निपीड नियम सत्य असल्याची प्रचिनी या संपरीक्षेवरून येते.

आंशिक निपीड नियमाचा अभ्यास पुढील साध्या संपरीक्षेने करून येतो. एका मोठ्या आकाराच्या क या वाचेच्या पलिघाना (flask) ख हें एक निपीडामान जोडलेले असते (आकृति १२-९ पाहा) प्रथम पलिघातील वायूचे आणि वाहेरील वायूमण्डलाचे निपीड समान असल्याने, निपीडामानातील दोन्ही बाहूतील तरल पृष्ठ एकाच क्षतिग्रहतात असताना पलिघान पात्रक काचेच्या बंद



आ. १२-९

केलेल्या लहान नळघांत दक्षुतरल भरून त्या पलिघात ठेवतात. पलिघांतील वायूचा ताप कोण्ठतापावर स्थिर असतो. पलिघ जोराने हलविल्यास, काचेच्या नळचा फुटून त्यातील दक्षुचें अनुविद्ध वाष्प पलिघाच्या परिमेंत पसरते. ताप स्थिर झाल्यावर ख या निपीडामानाचे वाचन घेतात. या वाचनावरून पलिघातील मिश्रणाचे निपीड आणि वायुमण्डलीय निपीड यातील भेद समजतो. आशिक निपीड नियमाप्रमाणे

मिश्रणाचे निपीड = अनुविद्ध दक्षुवाष्पाचे निपीड + पलिघातील वायूचे निपीड

निपीडामानाचे वाचन = पलिघातील मिश्रणाचे निपीड - वायुमण्डलीय निपीड.

= अनुविद्ध दक्षुवाष्पाचे निपीड + पलिघातील वायूचे निपीड - वायु [मण्डलीय निपीड.

= अनुविद्ध दक्षुवाष्पाचे निपीड.

∴ निपीडामानाचे वाचन = सावित्राच्या तापावरील दक्षुतरलाचे भूमिष्ठ वाष्प निपीड.

कारण, पलिघाची परिमा बरीच जास्त अमस्थाने निपीड-मानाच्या वाहूतील तरलाच्या उर्जात परिवर्तन झाल्यास, पलिघातील परिमेचे परिवर्तन उपेक्षणीय असते, म्हणून वरील संपरीक्षेत प्रारंभापासून सेक्टपर्यंत पलिघातील वायूचे समतापावरील निपीड वायुमण्डलीय निपीडाइटचे असते

### आसवन (distillation)

उकळत्या तरलापासून झालेल्या वाष्पाचे शीतन केल्यास, या वाष्पाचे सघननद्वारा तरलस्थितीत रूपान्तर करता येते. या क्रियेस आसवन (distillation) म्हणतात. तरलात सान्द्र द्रव्य विलयित असल्यास, या विलयनाचे आसवन करून सान्द्रापासून शुद्ध तरल वेगळे करता येते. उदाहरणार्थ, समुद्राच्या सान्द्रा पाण्यापासून आसवनाने शुद्ध पाणी मिळू शकते. तरलाच्या मिश्रणातील मिश्र तरलाचे भूयिष्ठ वाष्पनिपीड मिश्र असल्यास या मिश्रणाचे आसवन केल्याने जास्त वाष्प-निपीड असलेल्या तरलाचे वाष्पन जास्त प्रमाणाने होऊन हे तरल अल्प वाष्पनिपीड असलेल्या दुसऱ्या तरलापासून वेगळे करता येत तरलाच्या मिश्रणातील घटक वेगळे करण्याच्या ह्या रीतीस 'आंशिक आसवन' (partial distillation) असे म्हणतात. पाणी आणि सुपव यांचा मिश्रणापासून सुपव वर प्रमाणे वेगळा करतात. जारक आणि भूयाती यांच्या तरलस्थितीतील मिश्रणाचे अल्प तापावर आंशिक आसवन करून, भूयातीपासून तरलस्थितीतील जारक वाति शुद्ध स्थितीत वेगळा करता येतो. जारक वाति मोठ्या प्रमाणावर संप्रहित करण्यास वरील रीतीचा उपयोग करतात

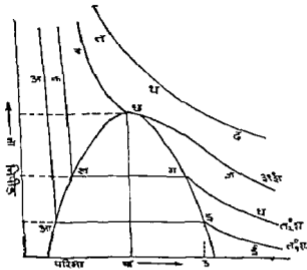
### शीघ्र उद्वाष्पनाने होणारे शीतन

तरलाचे उद्वाष्पन शीघ्रतेने केल्यास, उद्वाष्पनाला लागणारा उष्ण उष्मा तरलापासून मिळतो. या कारणाने उरलेल्या तरलाचा ताप बराच न्यून होतो एका पसरट पात्रात थोडा दक्षु ठेवून, त्यान

पाण्याने भरलेले घातुपात्र ठेवावे लहान भाण्याने (bellows) दक्ष्वर वायु प्रवाहित करून दक्षुचे शीघ्र उद्वाष्पन केल्यास, घातु-पात्रातील पाण्याचे हिम झालेले आढळून येईल. तरलाचरील वायु-निपीड चूपोदवाने अल्प करून तरलाचे उद्वाष्पन शीघ्रतेने करता येते. अशा शीघ्रउद्वाष्पनाने तरलाच्या सभोवारच्या वस्तूचे शीतन होते. दक्ष अथवा तरल स्थितीतील तिक्ताति (liquid ammonia) याच्या शीघ्र उद्वाष्पनाने पाण्याचे शीतन करून, पाण्यापासून हिम मोठ्या प्रमाणावर करतात. प्राणार-द्वि-जारेय, तिक्ताति अशा एखाद्या विशिष्ट वातीच्या तरलाचे चूपोदवाने शीघ्र उद्वाष्पन करून प्रशीतकातील (refrigerator) वस्तूचा ताप बराच अल्प ठेवता येतो. प्रशीतकात योजलेल्या तिक्ताति इत्यादीच्या वाष्पस्थितीतील द्रव्याचे सपीडनाने पुन तरलस्थितीत रूपान्तर होऊन प्रशीतकातील शीतन क्रिया विशिष्ट अल्प तापस्थिति येईपर्यंत चालू असते.

### वातीचे तरलन (liquefaction of gases)

फॅराडे या शास्त्रज्ञाने नीरजी (chlorine) वातीच्या तरलना-करता योजलेली रीति सामान्यपणे पुढीलप्रमाणे होती वायुशी संपर्क येऊ न देता लाकडी कोळसा वन्याच उच्च तापापर्यंत तापविल्यानंतर ती शीत होत असता, त्याच्या संपर्कात येणाऱ्या वातीचे या कोळशात वन्याच प्रमाणावर प्रचुषण होते. यानंतर हा कोळसा पुन तापविल्यास, प्रचुषित झालेला वायु कोळशातून बाहेर पडतो बरोलप्रमाणे वातीच प्रचुषण केलेला काही लाकडी कोळसा, व ख या घन नळीच्या एका टोकास ठेवतात नळीची दोन्ही टोके बंद असून एक टोक आवृत्ति १२-१० भक्ष्ये दर्शविल्याप्रमाणे दयान मिश्रणात बुडविलेले असत. व टोकाकडील कोळसा तापवल्याने त्यातील प्रचुषित वाति बाहेर पडून व ख मधील या वातीचे निपीड बरेच वाडते. ख चा ताप पुरेसा अल्प असल्यास या उच्च निपीडावर



आ. १२-११

निपीड आणि परिमा याचा समतापावरील परिवर्तनांचा सबध आकृति १२-११ मधील अ आ इ ई ह्या बिन्दु रेखेने दर्शविला आहे. वातीचे परिमानिपीड परिवर्तन वॉर्डेलच्या स ता प. नि नियमाप्रमाणे होते हे बिन्दु रेखेच्या ईई या भागावरून लक्षात येते. इ बिन्दूने दर्शविलेल्या स्थितीत वातीची परिमा न्यून केल्यास, वातीचे सघनन होऊन ड आ या रेपेने दर्शविल्याप्रमाणे आ येथे सर्व वातीचे सघनन होते, आणि हे सघनन होत असता वातीचे इ ऊ हे निपीड स्थिर असते. वातीपासून सघननाने झालेल्या तरलाचे निपीडवर्धनाने होणारे अल्प परिमा परिवर्तन आ अ ह्या रेपेने दर्शविले आहे. कखगघ हा त्याच वातिपुजाचा जास्त तापस्थितीतील बिन्दु रेख आहे. ग बिन्दूने दर्शविलेल्या जास्त तापावरील स्थितीत वातीच्या तरलनाला

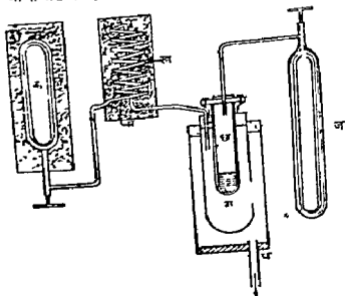
काष्ठा निपीड स्थितोतील एक धान्य व्यूहाणूच्या परिमेस काष्ठा परिमा (critical volume) म्हणतात पुढील मारणोत काही वातीचे काष्ठा निपीड आणि काष्ठा ताप दिले आहेत

वाति	काष्ठा-ताप	काष्ठा निपीड (प्रमाण वाय- मण्डलीय निपीड हें एक योजले आहे)
उद्जन ... ..	-२३९९° स.	१२८
जारक ... ..	-११८८° स.	५०
भूयाति ... ..	-१४७° स.	३३५
वायु ... ..	-१४०° स.	३९
यानाति ... ..	-२६८° स.	२२६
प्रागार-ट्रि-जारेय .	३११° स.	७३
शुल्वारि-ट्रि-जारेय ...	१५५४° स.	७८९

वरील विवेचनाच्या साहाय्याने वाति आणि वाष्प यातील भेद पुढील प्रमाणे दर्शविता येईल काष्ठा तापपेक्षा जास्त ताप असलेल्या वातिस्थितीतील द्रव्यास 'वाति' ही सज्ञा योजावी आणि काष्ठा तापपेक्षा ताप न्यून असल्यास या वाति-द्रव्यास 'वाष्प' म्हणावे

जारक वातीच्या तरलनास योजलेल्या एका रीतीचे वर्णन पुढे दिते आहे. प्रागार ट्रि-जारेयाचा काष्ठा ताप काष्ठतापपेक्षा थोडा जास्त असल्याने, अल्पशीतन करून आणि निपीड वाढवून प्रागार ट्रिजारेयाचे तरलन करतात. चूपादचाने (vacuum pump) अल्प निपीडस्थिति निर्माण करून या तरलाचे शीघ्र उद्वापन करतान. उद्वापनाला

वायव्य असणारा गुप्त ऊष्मा प्राणार द्विजारेयाच्या तरलापामूनच मिळाल्यामुळे हे तरल सान्द्रस्थितीत येते. या सान्द्रात दक्षुमिसळून केलेल्या इयान मिश्रणाचा ताप  $-८०^{\circ}\text{C}$ , इतका अल्प असतो या इयान मिश्रणान आकृति १२-१२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क रम्भाकार घातु-पात्र बुडविले असने क रम्भाकार पात्रातील दक्षुलेन्याचे (ethylene) तरलन होणे तरलस्थितीतील हा दक्षुलेन्य इयान-मिश्रणान बुडविलेल्या स कुतलाकार नळीमार्गे ग नळीत येतो. क यये जोडलेल्या चूपोदचान दक्षुलेन्य तरलाचे शीघ्र वाष्पन होऊन ग चा ताप वराच अल्प होतो याणि ज मधील जारकाचे निपाड पुरेमे जास्त असल्यास, छ मध्ये येणाऱ्या जारक वातीचे तरलन होतें.

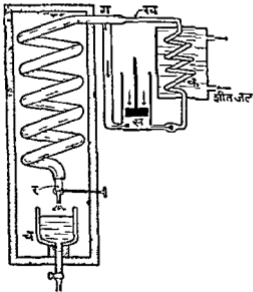




याप्रमाणे एका वातीच्या तरलाचे उद्‌घापन करून दुसरा वाति तरलस्थितीत आणण्यातील उत्तरोत्तर शीतन त्रिया स्पष्ट होईल.

सपीडित (compressed) वाति सूक्ष्मरघ्यातून बाहेर येत असता या वातीचे निपीड बरेच अल्प केल्यास विशिष्ट तापस्थितीत या वातीचा ताप थोडा अल्प होतो या घटनेस 'ज्यूल-थॉमसनचा' 'निपीड-मोच शीतन प्रभाव' (Joule Thomson effect) ही सजा आहे (या घटनेचे स्पष्टीकरण प्रस्तुत पुस्तकाच्या मर्यादे-पलिकडे आहे) वायूच्या तरलनास योजलेल्या आधुनिक साधनात या घटनेचा उपयोग केलेला आहे बाहेरील वायू शुद्ध करून स सपीडकास योग्य जुळणीने मिळतो स सपीडकाच्या साहाय्याने या शुद्ध

वायूचे निपीड २००



आ १२-१३

प्रमाण वायुमण्ड-  
लीय निपीडाइतके  
वाढवून तो वायू  
क या कुतलाकार  
नळीतून प्रवाहित  
करतात (आकृति  
१२-१३ पहा)  
क नळी रघान  
मिश्रणात बुडवि  
लेली असल्याने  
सपीडित स्थिती-  
तील वायूचा ताप  
अल्प होतो सपी  
डकाला जोडलेल्या  
ग हद्द नळीत  
ख ही भरद नळी  
वसविलेली असते

ख नळीतून शीत वायु प्रवाहित होऊन, तो र रघानून वाहेर पडतो. रघानून वाहेर पडताना वायूचे निपीड बरेच अल्प झाल्यामुळे त्याचा ताप ख मधोल वायूपेक्षा थोडा न्यून होतो अशा रीतीने, न्यून ताप झालेला वायु ग नळीमार्गे सुपीडकाकडे ओढला जातो. ग नळीतोल वापूना तार न्यून झाल्याने ख मधून येणाऱ्या वायूचा ताप पूर्वपेक्षा थोडा न्यून होतो आणि र रघानून वाहेर पडताना, या वायूचा ताप जास्त न्यून होतो जास्त न्यून ताप झालेला हा वायु ग मधून जाताना, ख मधून येणाऱ्या वायूचा ताप जास्तच न्यून करतो. अशा रीतीने ख मधून वाहेर येणाऱ्या वायूचा ताप प्रमात्रमाने न्यून होत जातो ख मधून येणाऱ्या वायूचा ताप जशा रीतीने पुरेसा अल्प झाल्यास अल्प ताप झालेल्या वायूचे र येथे होणाऱ्या विस्तरणाने आणखी थोडे जास्त शीतन होऊन वायूचे तरल च पानान सांचू लागते.

### प्रश्न

(१) बुद्बुद्न आणि उद्वापन यातील भेद स्पष्ट करा. वाह्य निपीडाचा बुद्बुदाकावर काय परिणाम होतो ?

(२) भूयिष्ठ वाष्प निपीडाच्या मापनावरता उपयोगान आणलेल्या निम्न निम्न रीतीचे स्पष्टीकरण करा.

(३) अननुविद्ध वाष्प आणि अनुविद्ध वाष्प यातील भेद स्पष्ट करा

परीक्ष्य वाष्प अनुविद्ध स्थितीत आहे अथवा अननुविद्ध स्थितीत आहे हे टरविषयाम आवश्यक अगुणाऱ्या सप्तरीक्षेचे वर्णन करा.

(४) समतापस्थितीत वाष्पाची परिमा आणि निपीड याचा सबंध दर्शविणाऱ्या विन्दुरेखाच्या साहाय्याने वानीचा वाष्पताप आणि त्याचे वाष्पनिपीड याचे स्पष्टीकरण करा.

काष्ठा तापापेक्षा जास्त ताप स्थितीतील विन्दुरेखाचे वैशिष्ट्य स्पष्ट करा.

(५) वायूच्या तरलतास योजलेल्या आधुनिक रीतीचे वर्णन करा.

पारदस्तम्भावरील अनुविद्ध वाष्प आणि वायु यांच्या मिश्रणाची परिमा १० घ. शि. मा. असून या मिश्रणाचे निपीड ७६ शि. मा आहे ताप अचल ठेवून मिश्रणाचे निपीड १३० शि मा पर्यंत वाढवित्यास मिश्रणाची परिमा निम्मी होते, यावरून अनुविद्ध वाष्पनिपीडाचे गणन करा.

तेव्हा या वायूसंबंधी  $\frac{P_1}{P_2}$  ह्या निष्पत्तीची अर्हां १ पेक्षा बरोच

अल्प असते.  $\frac{P_1}{P_2}$  या निष्पत्तीची अर्हां १ च्या जवळपास

असल्यास, त्या वायूत जास्त प्रवाप्य सामावू शकत नाही. वायूच्या ह्या स्थितीत आपल्या शरीरावरील घामाचे वापन लवकर होत नाही; म्हणून अशा दमट वातावरणात आपणास अस्वस्थता वाटते. याच्या उलट,

$\frac{P_1}{P_2}$  या निष्पत्तीची अर्हां १ पेक्षा बरोच न्यून असल्यास या वायूत

जास्त प्रवाप्य सामावू शकते; म्हणून शरीरावरील घामाचे वापन तीव्र होते यामुळे अशा वातावरणातील वायू शोरडा आहे असे

आपण म्हणतो  $\frac{P_1}{P_2}$  या निष्पत्तीला वायूचा 'सापेक्ष आर्द्रता'

(relative humidity) अशी संज्ञा आहे. आपले शरीरस्वाम्य वायूतील प्रवेवल आर्द्रतापेक्षा वायूच्या सापेक्ष आर्द्रतावर जास्त अवलंबून आहे.

वायूच्या कोणत्याही ए परिमेतील प्रवाणाचा पुत्र पु' अमन्यास,

$$P' = P \times P_1$$

सुमेच गमनास अगळेह्या वायूच्या त्याच परिमेतील अन्वित्त प्रवाणाचा पुत्र पु'' अमन्यास,

$$P'' = P \times P_2$$

$$\frac{P'}{P''} = \frac{P \times P_1}{P \times P_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

$$\therefore \frac{P_1}{P} = \text{सापेक्ष आर्कडेद}$$

वायूच्या विवक्षित परिमैनील प्रवाण्याचा पुज, (P')

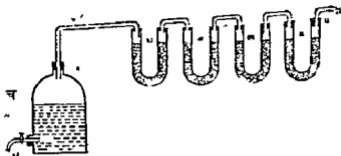
समताप आणि समपरिमा असलेल्या वायूतील अनुबिद्ध प्रवाण्याचा पुज, (P'')

सापेक्ष आर्कडेद निश्चयनात  $\frac{P'}{P''}$  या निष्पत्तीचे निश्चयन करतात. सापेक्ष आर्कडेदाची अर्हा प्रतिशत सख्येने दर्शविण्याचा प्रघात आहे. उदाहरणार्थ  $\frac{P'}{P''}$  ची अर्हा २० असल्यास, सापेक्ष आर्कडेद  $(\frac{20}{100} \times 100) = 20\%$  आहे

वायुमण्डलीय आर्कडेद मापनाला 'उन्दमिति' (hygrometry) आणि आर्कडेद मापनाच्या साधित्राला 'उन्दमान' (hygrometer) अशा संज्ञा आहेत आर्कडेद मापनात भिन्न भिन्न प्रकारची उन्दमाने उपयोगात आणताना यापैकी, काही उन्दमानाचे विवेचन येथे केले आहे

### रसायनिक उन्दमान (chemical hygrometer)

ह्या उन्दमानात क, ख, ग आणि घ ह्या ऊर्ध्वबाहू नळ्या आठूति १३-१ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे एकास एक जोडलेल्या अमून, ह्या नळ्यात शुष्क क्षुणितु निरेय (calcium chloride) भरलेला असतो. या ऊर्ध्वबाहू नळ्याच्या शेणीच्या एका टोकाला अगजारी घ नळी घ क्षुणित्राला (aspirator) जोडलेली असते घ क्षुणितु हें घन्याच मोठ्या परिमचे वायुवायु अमून ह्यात पाणी



आ. १३-१

भरलेले असते. छ तोटीतून चुपित्रातील पाणी बाहेर पडू लागले म्हणजे वायुमण्डलीय निपीडाच्या त्रियेने वायुमण्डलातील वायु क, ख, ग, घ नळघांमार्गे आत शिरतो आणि पाणी बाहेर गेल्याकारणाने चुपित्रातील रिक्त झालेली परिमा हा आत येणारा वायु व्यापतो. या आत येणाऱ्या वायूची परिमा चुपित्राच्या परिमाअवनावरून समजते. क, ख, ग नळघामधून वायु जाताना नळघातील शुष्क चूर्णानु नीरेय या वायूंनील प्रवाप्य पूर्णपणे शोषून घेतो. सपरीक्षेपूर्वी क, ख, ग, घ या नळघात शुष्क चूर्णानु नीरेय भरून, क आणि ग नळघाची अनूक्रमे प आणि फ टोके त्वक्षानी बंद करून, क, ख आणि ग याचा भार तुलेने निश्चित करतात. नंतर क, ख, ग, नळघाची थेंगी घ नळीला जोडतात. क नळीचे प टोक उघडं ठेवून चुपित्राची छ तोटी उघडतात चुपित्रात पुरेसा वायु आल्यानंतर क, ख, ग नळघाची थेंगी घ नळीपासून वेगळी करून (प आणि फ टोके पुन त्वक्षेने बंद करून) या नळघाचा भार निश्चित करतात. सपरीक्षेच्या प्रारंभी आणि शेवटी घेतलेल्या या थेंगीच्या भाराच्या भेदावरून च मध्ये आलेल्या वायूतील प्रजाण्याच्या गुं पुजावी अर्हा समजते.

क ख, ग मध्ये प्रवेश करणाऱ्यापूर्वी वायु पाण्यातून बुडबुड्याच्या रूपाने बाहेर पडेल अशी योजना केल्यास ही वायु समतापावर प्रवाप्पाने अनुविद्ध होतो. अशा प्रकारे प्रवाप्पाने अनुविद्ध झालेला वायु चूपित्राच्या साहाय्याने क, ख, ग मधून प्रवाहित केल्यास, या नळ्याच्या प्रारंभिक आणि अन्तिम भाग निश्चयनावरून समतास्थितीतील समान परिमंच्या वायूमधोल अनुविद्ध प्रवाप्पाच्या पुं पृजाचे गणन करता येते. यावरून,  $\frac{P_1}{P_2}$  या निष्पत्तीने दर्शविलेल्या वायूच्या सापेक्ष आक्लेदाचे गणन करतात

चूपित्रातील पाण्याच्या प्रवाप्पाचा ग नळीमधील शुष्क चूर्णातु नीरेषाशी संपर्क येऊ नये म्हणून चूपित्र आणि ग नळी यांमध्ये घ नळी बसविली अमने म्हणून या संपरीक्षित नळ्याच्या भाग-निश्चयनांत घ नळीचा समावेश नसतो,

बरोल उन्दमानाने सापेक्ष आक्लेदाचे केलेले निश्चयन परिशुद्ध असते तथापि या निश्चयनास जास्त कालावधि लागली. यापेक्षा जास्त मुलानपणे आणि अल्प कालावधीत सापेक्ष आक्लेदाचे निश्चयन बऱ्याच परिशुद्धतेने पृथीलप्रमाणे करता येते

मागील प्रकरणाने आपण पाहिलेच आहे की, प्रवाप्य अनुविद्ध स्थितीत नसल्यास समतापर असताना या प्रवाप्पाची परिमा आणि त्याचे निरीड यांचा संबंध बॉईलच्या स. ता. प. नि नियमाने दर्शविला येतो हा संबंध वायूच्या अनुविद्ध स्थितीपर्यंत बॉईलच्या स. ता. प. नि नियमाने दर्शविला येतो अने मानल्यास, प्रवाप्पाची पाना ही प्रवाप्पाच्या निरीट्टाशी अनुगतो, असते हे स्पष्टत येईल.

डाल्टनच्या आंशिक निपीड नियमांत दर्शविल्याप्रमाणें वायू आणि प्रवाण्यांच्या मिश्रणांतहि स्थिर तापस्थितीत प्रवाण्याची घनता आणि निपीड अनुपाति असतात.

यावरून;

$$\frac{p_1}{p_2}$$

वायूच्या विशिष्ट परिमंतीत प्रवाण्याचा पुंज समताप समपरिमा असलेल्या वायूच्या अनुविद्ध स्थितीतील प्रवाण्याचा पुंज

$$\frac{\text{प्रवाण्याची घनता, } \rho_1 \times \text{वायूची परिमा}}{\text{प्रवाण्याची अनुविद्ध स्थितीतील घनता, } \rho_2 \times \text{वायूची परिमा}}$$

$$\frac{\text{प्रवाण्याची घनता, } \rho_1}{\text{त्याच तापावरील अनुविद्ध प्रवाण्याची घनता, } \rho_2}$$

$$\frac{\text{प्रवाण्याचे प्रत्यक्ष निपीड, } n_1}{\text{समतापावर अनुविद्ध प्रवाण्याचे निपीड, } n_2}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2} = \text{सापेक्ष आकलेंद}$$

वरील समीकाराच्या शक्यापक्षाची अर्हां रसायनिक उन्द्मानाच्या उपयोगात वर्णिल्याप्रमाणे निश्चित करता येते. अनुविद्ध प्रवाण्याचे भिन्न भिन्न तापावरील निपीड दर्शविल्याच्या सारणीद्वारे कोणतापावरील अनुविद्ध प्रवाण्याचे ना निपीड गमजतें. वायूतील न निपीडाचे प्रत्यक्ष मापन करून  $\frac{n_1}{n_2}$  या निष्पत्तीची अर्हां गणन



करता येते अशा रीतीने, डाव्या आणि उजव्या पक्षांचे गणां  
 वगळता या दोन पक्षांच्या अर्धा विहित भिन्न बाह्य अम दिसून आले  
 आहे यावरून, अनुविद्ध स्थिति येईपर्यंत प्रवाष्याची परिमाण आणि,  
 निपीड याचा संबंध, बॉईलच्या स ता प नि नियमावये दर्शविता  
 येतो अम मानण्यात घेई चूक आहे ह लक्षात येईल. तथापि, सापेक्ष  
 आवलंदाच्या निरूपणात वरील अहातीठ भेद उपेक्षणीय मानून  
 न या निष्पत्तीत सापुष अवलंदाचे निरूपण करण्याचा  
 प्रघात आहे

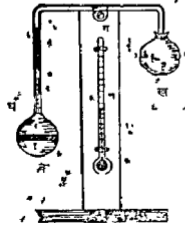
वायुमण्डलाचा ताप ता असून त्यातील प्रवाष्याचे निपीडे न  
 आहे अशी कल्पना करू अनुविद्ध स्थितीतील प्रवाष्याच्या निपीडाची  
 अर्धा, न्यून तापावर न्यून होऊ शकते, म्हणून ता° पेक्षा न्यून  
 असल्या एखाद्या ता° तापावर अनुविद्ध प्रवाष्याचे निपीडे न असणे  
 शक्यत परीक्ष्य वायूचा ताप ता° तापापासून न्यून करित गेल्याम ही  
 तापहानि स्थिर निपीडावर होऊ शकते ही तापहानि हानाना  
 वायूतीठ प्रवाष्याचे न निपीडे स्थिर असून  
 वायूचा ताप ता° इतरा मा यावर, ह्या र्थायुतीठ प्रवाष्य अनुविद्ध  
 स्थितीत येते यानंतर, या वायूत अल्प तापहानि झाल्यास अनुविद्ध  
 स्थितीत असल्या प्रवाष्याचे गणनेन होऊन शीत वायूचा सस्पेंडि  
 असल्या माट घट्टवर दक्षिण (अवसाय = dew) दिग्  
 लागताना या स्थितीतील वायूच्या ता° तापास अवसायाक (dew  
 point) ही गण आहे परीक्ष्य वायूचा न्यून झाल्या ताप ता°  
 अगमना त्यातील प्रवाष्य अनुविद्ध स्थितीत येऊ म्हणून न की  
 अर्धा ता° तापावरील अनुविद्ध प्रवाष्याच्या निपीडातकी अगती ह  
 ल्याम घट्ट ता° अवसायाक माहीत असल्याम निम्न तापावरील  
 प्रवाष्य निपीडाच्या गणनेवरून न निपीडांचा अहा समजणे वाचते

असणाऱ्या प्रवाण्याच्या निपीडाची न अर्धा अवश्यायाका इतका ताप असताना अनुविद्ध प्रवाण्याच्या निपीडातून असते असा घरील विवेचनाचा निष्कर्ष आहे.

सापेश भारेद्वारे  $\frac{P}{P_0} = \frac{h}{h_0} = \frac{P_0}{P_0} = 1$  असे अनुविद्ध प्रवाण्याचे निपीड वायुमण्डलाच्या तापावरील अनुविद्ध प्रवाण्याचे निपीड अवश्यायांनाच्या निरचयनाचे वायुच्या सापेश भारेद्वारे निरचयन करण्यास योजलेल्या उन्दिमानास 'अवश्यायाव उन्दिमान' ही संज्ञा आहे.

डानियेलचे उन्दिमान (Daniell's hygrometer)

या उन्दिमानात क आणि ख हे वाचेचे गोलाकार कर्द आवृत्ति १-२ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे, ग नळीने जोडलेले असतात. क



वृन्दांत दक्ष अंशून त्यात घ हे पारदतापमान ठेवलेले असते. ख वृन्दात आणि ग नळीत दक्ष-वायु अंशून स वृन्दाभोवती पातळ वस्त्रे अथवा कापूमा गुंडाळून ठेवतात. क वृन्दाच्या मधल्या भागावर घानूच्या पातळ पत्र्याची चक्करीत पट्टी बसविलेली असते. ग नळी एका लावडी स्यामावर बगविलेली असते या स्यामावर च हे एक पारदतापमान असून

या पारदतापमानाच्या साहाय्याने वायुमण्डलाच्या ता या प्रारंभिक तापाचे वाचने घेतात.

प्रथम ख भोवती गहाळलेल्या वस्त्रावर थोडा थोडा दक्षु ओततात. ओतलेल्या दक्षुचे उद्वाष्पन होऊ लागते आणि ह्या उद्वाष्पनास लागणारा गुप्त ऊष्मा ख कन्दामर्धन मिळतो, म्हणून ख कन्दाचा ताप न्यून होऊन त्यातील दक्षुच्या बाष्पाचे तरलात परिवर्तन होऊ लागते आणि क मधील दक्षुबाष्प ख कन्दाकडे प्रवाहित होऊन क मधील दक्षुतरलाचे उत्तरोत्तर अधिक उद्वाष्पन होते व कन्दातील दक्षुच्या उद्वाष्पनाला लागणारा गुप्त ऊष्मा, क कन्दाबाहेरील वायूतून मिळून व ला सस्पर्शिता अणुणाच्या बाहेरील वायूचा ताप न्यून होत जातो ख कन्दावरील वस्त्रावर अल्प कालांतराने थोडा थोडा दक्षु ओतल्यास, वर वर्णन केल्याप्रमाणे क कन्दाबाहेरील सस्पर्शित वायूचा ताप अधिकाधिक न्यून होत जातो क बाहेरील वायूचा ताप अवश्यायाका इतका न्यून होताच, व कन्दावरील चकचकीत धातु पट्टीवर दव (अवश्याय = dew) दिसू लागते धातुपट्टीवर दव दिसताच घ तापमानाचे वाचन घेऊन ख कन्दावर दक्षु टाकणे थांबविताने व आणि ख कन्दाचा ताप वायुमण्डलाच्या स्पर्शाने वाढू लागतो ताप वाढत असताना धातुपट्टी वरील दवाचे उद्वाष्पन होताच, घ पारदतापमानाचे पुन वाचन घेतात, वरीलप्रमाणे क कन्दाच्या धातुपट्टीवर दव दिसतेवेळी एक आणि दव नाहीसे होते वेळी एक अशी अनेक वाचने घेतात. या वाचनाचे त माध्य वाचन अवश्यायाकाची अर्हा दर्शविते वायुमण्डलीय ताप ता° असल्यास, त° आणि ता° या तापावरील अनुबिद्ध प्रवाष्पाच निपीड सारणीवरून समजते निपीडाच्या अर्हा अनुक्रमे न आणि ना असल्यास,  $\frac{n}{na} =$  सापेक्ष आकलेद

सापेक्ष आक्लेदाच्या निश्चयनाची वरील रीत खाली दिलेल्या उदाहरणामुळे जास्त स्पष्ट होईल. वायुमण्डलाचा ताप  $१६^{\circ}$  स. असून या वायूचा अवश्यायाक  $९^{\circ}$  स. आहे अशी कल्पना करू. अनुविद्ध प्रवाष्पनिषीड आणि ताप याच्या मारणीवम्न  $१६^{\circ}$  स. आणि  $९^{\circ}$  स. या तापावर अनुविद्ध प्रवाष्पनिषीड अनुक्रमे  $१३.५५$

सि. मा. आणि  $८.६०$  सि. मा. आहे. म्हणून  $\frac{८.६०}{१३.५५} =$  सापेक्ष आक्लेद.

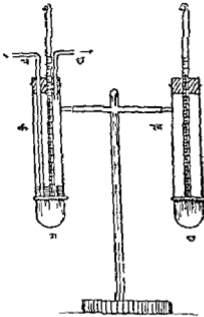
सापेक्ष आक्लेद प्रतिशत संख्येने पुढील प्रमाणे दर्शविता येतो.

$$\frac{८.६०}{१३.५५} \times १०० = ६३.४\%$$

वरील उन्दमानाच्या उपयोगात काही अनुपंगिक विभ्रम संभवतात. घ पारदतापमानाचा कन्द आणि क बाहेरील वायु या दोहोत मदबाहक काच आणि दक्ष तरल असल्यामुळे, बाहेरील वायूचा ताप आणि घ तापमानाचा ताप हे भिन्न असतात. यामुळे घ तापमानाचे  $t^{\circ}$  तापवाचन हे वास्तविक अवश्यायाकापेक्षा थोडे भिन्न असते. ख कन्दावरील दक्षूच्या उद्वाष्पनाने सभोवारच्या वायूत दक्षूवाष्प मिमळून, या वायूच्या अवश्यायाकाचे अल्प परिवर्तन होण्याची संक्यता असते तसेच, दक्षु ओतणाऱ्या ध्यक्तीच्या श्वासाच्छ्वामाने या साधित्राच्या सभोवारच्या वायूत जास्त प्रवाष्प येते, कारण मनुष्याच्या उच्छ्वासाने बाहेर सोडलेल्या वायूत प्रवाष्पाचे प्रमाण बरेच असते. या साधित्रात ख कन्दावरील दक्षूच्या उद्वाष्पनाचे नियमन करता येत नमन्याने दव दिमताच तापवाचन घाईनेच घ्यावे लागते.

**रेनोचे उन्दमान (Regnault's hygrometer)**

रेनो या शास्त्रज्ञाने योजलेले उन्दमान बरेच निक्षेप आहे.



आ. १३-३

दोन्ही टोके उघडी असलेल्या क आणि ख रूद नळ्याच्या खालच्या भागाला अनुक्रमे ग आणि घ ही चांदीची पातळ टोपणें बसविलेली असतात आणि वरच्या भागाला त्वक्षा बसविलेल्या असतात (आकृति १३-३ पाहा). या नळ्यात पुरेसा दक्षु टाकतात. क आणि ख नळ्यातील दक्षुत कन्द बुडेल अशा रीतीने एकेक पारद तापमान बसविलेले असते. क नळीच्या त्वक्षेत च आणि छ नळ्या बसविल्या असून, च नळीचे टोक क मधील दक्षुत बुडलेले असते आणि छ नळी आखूद

असून तिचे टोक दक्षुपटाच्या वरेंच वर असते. ग आणि घ टोपणें आणि क मधील तापमान काही अंतरावर ठेवलेल्या लहान दुरेक्षातून (telescope) पाहतात. छ नळीचे बाहेरील टोक चूपित्राला जोडून या चूपित्रातून पाणी बाहेर जाऊ देतात. अर्थातच, बाहेरील वायु च नळीमार्गे क मधील दक्षुतून सुडसुड्याच्या रूपां बाहेर येऊन छ मार्गे चूपित्रात जातो. वायूच्या सुडसुड्यानी क मधील दक्षुने दीर्घ उद्बाष्पन होते या उद्बाष्पनास लागणारा गुप्त ऊर्मा ग समोबता-लच्या वायूतून पिळतो आणि ग ला सस्पिंगित असलेल्या वायूचा ताप न्यून होत जातो वायूचा ताप अवघ्यायाका इतका न्यून होताच

ग टोपणावर दब दिवू लागून ग आणि घ टोपणाचे पृष्ठ सारखेच चकचकीत असल्याने, दब जमताक्षणीच ग चा पृष्ठ घ च्या पृष्ठाच्या तुळनेत थोडामा मंद दिवू लागतो. याच क्षणी क मधील तापमानाचे दूरेक्षानून वाचन घेतात आणि 'चुपित्रानून' जाणाग पाण्याचा प्रवाह थांबवितात. ह्यामुळे, क मधील दक्षुचे उद्वापनहि थांबते आणि ग टोपणाचा ताप वाडू लागून ग वरील दब नाहीति होताच क मधील तापमानाचे पुनः दूरेक्षानून वाचन घेतात. अनेक तापवाचनाच्या माध्य अहेचे गणन करून अवस्थायाकाचे निश्चयन करतात. या उन्दमानात ग पानळ टोपण चादोसारख्या सुसवाहकाचे असून आणि दक्षूनून वायूचे बुडबुडे जात असल्या कारणाने क मधील दक्षुचा ताप सर्वत्र सारखा असतो. यामुळे, ग टोपणावाटेरील सस्पेंडित वायु आणि ग मधील दक्षु या दोहोचा ताप समान असल्याने अवस्थायाक आणि क मधील तापमानाचे वाचन यात भेद नसतो. दूरेक्षामधून वाचने घेणारा निरीक्षक (observer) या साधित्रापामून काही अतरावर असल्याने त्याच्या स्वासोच्छ्वासाचा साधित्रात्रवळीळ वायूच्या सापेक्ष आक्नेदावर परिणाम होत नाही. या उन्दमानात चुपित्रानून बाहेर पडणाऱ्या पाण्याचा प्रवाह नियमित करून दक्षुच्या उद्वापनाची क्रिया नियमित करता येते.

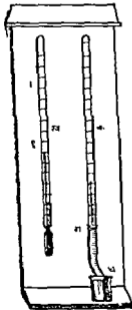
### डाइनचे उन्दमान (Dine's hygrometer)

ह्या उन्दमानातील क घानूपात्रात हिमवण्ड आणि पाणी दाचे मिश्रण भरलेले असून. या उन्दमानाचे रेखाचित्र आकृति १३-४ मध्ये दर्शविले आहे. क मधील शीत पाण्याचा प्रवाह ख दा चकचकीत पानळ घानूच्या पम्पाच्यानून जाऊन ग तोंडीने बाहेर पडतो. या शीत पाण्याच्या प्रवाहाने स चा वरील पृष्ठ आणि त्याच्या स्पॅग्नि असलेला वायु दाचा ताप न्यून होतो. ख पृष्ठावर दबबिन्दू दिवू लागताच ख पृष्ठाला स्पॅग्नि टेंबलेल्या घ तारमानाच्या माहान्याने



आ १३-४

अवश्यामाकाच (ताप) वाचन घता यते ख या धातूपण्याच्या स्थानी पातळ काळया काच पट्टीची योजना करण्याचा प्रधान आहे



आ १३-५

### आर्द्र आणि शुष्क तापमानें (wet and dry bulb thermometers)

आर्द्र आणि शुष्क तापमानाच्या साहाय्यान सापक्ष आकडेदाचे गणन करता येत आकृति १३-५ मध्ये दशविलेली व आणि ख ही दोन सारखी तापमाने असून क च्या कदाभोवता कापसाच्या वस्त्राचा लहान तुकडा गुंडाळून त्याच अरुद टाक घ या लहान पात्रातील पाण्यात बुडविले असत केशाख्वाने घ मधील पाणी वस्त्रामधून वर चढत म्हणून व फन्दा भोवतीच वस नेहमी ओग असत वायुमण्डलातील प्रवाण अनविद प्रवाप्पापक्षा वरच अल्प अमन्यास आया वस्त्रातील पाण्याच उन्वाप्पन क्षीघ्नर्न

होऊन, ख च्या तापापेक्षा क चा ताप बराच न्यून होतो याच्या उलट, अनुविद्ध स्थिती येण्याइतकें पुरेसे प्रवाप्य वायूत असल्यास पाण्याने उद्वाप्यन अल्प प्रमाणात होऊन, ख आणि क याच्या तापात फारसे अंतर नसतं. ख चा वायुमण्डलीय ताप, क आणि ख तापमानाच्या वाचनातील भेद आणि वायुमण्डलाच्या या स्थितीतील इतर उन्दमानाच्या साहाय्याने निश्चित केलेला सापेक्ष आक्लेद या तिहीची एक सारणी केलेली असते. क आणि ख या तापमानाची वाचने घेऊन बरोल सारणीद्वारे वायूच्या सापेक्ष आक्लेदाची अर्हा समजते.

प्राण्यांच्या केसांच्या लाबीत वायूतील आद्रतेने परिवर्तन होतं. घावन क्षारात (washing soda) वेंस धुवून त्याच्या लाबीतील आद्रतेमळे होणारे परिवर्तन योग्य जुळणीने वर्तुळ श्रेणीवर मापता येत ही वर्तुळ श्रेणी प्रथम दुसऱ्या उन्दमानाच्या साहाय्याने सापेक्ष आक्लेदात प्रावन केलेली असते.

### आर्द्रवायूचा पुंज निश्चयन

कित्येक सपरीक्षात आर्द्र वायूच्या पुंजाचे गणन करणें आवश्यक असते हे गणन पुढील प्रमाणे करतात.

त°स. ताप अमलेल्या एका आर्द्र वायूचे सपूर्ण निपीड ना अगून त्यातील प्रवाण्याचे निपीड न आहे अशी कल्पना करू श्च ता नि स्थितीत बोरड्या वायूची घनता ०.००१२९ घान्य प्रति घन सि मा असते त°स. ताप आणि प घन सि. मा परिमा अमलल्या बोरड्या वायूचे निपीड डाल्टन्च्या आंशिक निपीड नियमान्वये (ना-न) इतरे प्रगते, म्हणून, ऋ. ता. नि. स्थितीतील बोरड्या वायूची परिमा,

$$V_0 = \frac{p (na - n) \times 273}{76 \times (273 + t)} \text{ पन सि. मा.}$$



प घन. शि. मा आर्द्रं वायूतील कोरड्या वायूचा पुज,

पुजा = प. × ऋ. ता. नि. वरील कोरड्या वायूची घनता

$$= \left[ \frac{प (ना-न)}{७६} \times \frac{२७३}{(२७३+त)} \times ०.००१२९ \right] \text{धान्य.}$$

ताप, निपीड आणि परिमा या राशि समान असताना प्रवाप्य आणि कोरडा वायू यांच्या पुजाच्या निश्चयनावरून असे दिमून आले आहे की, प्रवाप्याची घनता त्याच स्थितीतील कोरड्या वायूच्या घनतेच्या ०.६२ पट असते. प घ. शि. मा. आर्द्रं वायूतील प्रवाप्याची त°श. तापावरील परिमा प घ. शि. मा असून त्याचे निपीड न आहे.

प परिमा, त ताप आणि न निपीड असलेल्या वायूची ऋ. ता. नि स्थितीत परिमा प' असल्यास

$$प' = \frac{प \times न \times २७३}{७६ \times (२७३+त)} \text{ घ. शि. मा.}$$

∴ प्रवाप्याचे पुज, पुप्र = प' × प्रवाप्याची ऋ. ता. नि वरील घनता

$$= प' \times ०.००१२९ \times ०.६२$$

$$= \frac{प \times न \times २७३}{७६ \times (२७३+त)} \times ०.००१२९ \times ०.६२ \text{ धान्य}$$

म्हणून प घ. शि. मा. आर्द्रं वायूचा संपूर्ण पुज,

$$= पुजा + पुप्र$$

$$= \left\{ \frac{p(n-n')}{p \times (273+t)} \times 0.0129 \right. \\ \left. + \frac{p \times n \times 273}{p \times (273+t)} \times 0.0129 \times 0.62 \right\}$$

### वायुमण्डलातील प्रवाष्याचे संघनन

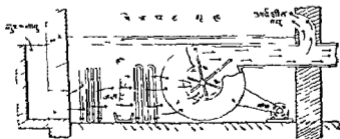
वायुमण्डलाचा ताप अवस्थावापेक्षा न्यून झाल्यास त्यातील काही प्रवाष्याचे द्रवान रूपांतर होतं हे आपण उन्हाळात विटंबन करताना पाहिलेच आहे. हिवाळ्यात वायूचा ताप अल्प होऊन त्यातील प्रवाष्याचे सूक्ष्म द्रवबिंदूत संघनन होतं. भूपृष्ठाजवळील वायूत असे संघनन झाल्यास, या सूक्ष्म जलकणांच्या समूहात 'घुंके' म्हणताना वायूत सूक्ष्म धूलिकण असल्यास, प्रवाष्याचे वरीलप्रमाणे संघनन बरेच मुलभूतने होते. थंड प्रदेशातील मोठ्या नगरात हिवाळ्यात घुंके वारवार पडते याचे कारण या नगरातील वायूत असलेले धूलिकण असताना. आपल्या देशातहि हिवाळ्यात सगळी घाडा वेळ घुंके असते.

वायुमण्डलातील आर्द्रवायू वर जाऊन असताना, निरोड न्यून होऊन त्याची परिमा वाढते आणि ताप न्यून होतो. आर्द्र वायूच असलेले शीतल झाल्याने त्यातील प्रवाष्याचे सूक्ष्म कणात संघनन होऊन वायुमण्डलाच्या वरच्या भागातील ह्या संघनित प्रवाष्यातील आपण 'दग' म्हणतो. समुद्रावरील उष्णवायूत प्रवाष्य बरेच असते आणि हा वायू भूमीवरील वायूत मिश्रित त्याचे शीतल होताना त्यातील प्रवाष्याचे दग बनतात. दगातील संघनित प्रवाष्याची घनता वाढून त्यातील पाणी भूमीवर पावसाच्या रूपात पडते. दगातील संघनित प्रवाष्याचा ताप अधोत्तमाने ०° स पेक्षा न्यून

झाल्यास, पाण्याचे थेंब पृथ्वीवर पोहचण्यापूर्वीच त्याचे हिमखण्डात रूपान्तर होऊन गाराचा पाऊस पडतो शीत कटिबंधात आणि त्या जवळील प्रदेशात ढगातील सघनित प्रवाप्प, हिमाच्या रूपाने भूपृष्ठावर पडत

सान्द्रस्थितीतील प्रागार द्विजारेयाच्या साहाय्याने ढगातील सघनित प्रवाप्पाचे अधिशीतन करून कृत्रिम पर्जन्य उत्पन्न करण्याच्या शास्त्रज्ञांच्या प्रयत्नास थोड यश मिळावे आहे

काही उद्योग-स्थानातील (places of industry) वायून आर्द्रतेचे प्रमाण सतत स्थिर ठेवणे अवश्य असते उदाहरणार्थ कापसाचे सूत काढताना पाण्याचे तुपार वायूत उडवून भोवतालचा वायू प्रवाप्पाने अनुबिद्ध करतात, कारण दमट वायूत सुताला जास्त पीळ देता येतो. आपल्या शरीरस्वास्थ्याकरता वायूचा ताप आणि त्यातील आर्द्रता ही विशिष्ट प्रमाणातच असणे हितकारक असत वायूचा ताप आणि आर्द्रता याचे नियमन करण्याची आवश्यकता आज सुधारलेल्या समाजास पटली आहे वायूतील धूलिकण आणि प्रागार द्विजारेय काढून टाकून त्या वायूचा ताप आणि आर्द्रता एका



विभिन्न मर्यादितच असावी अशी योजना वात्यावस्थापन सहनीच्या (air conditioning system) साहाय्याने करतात. अशा प्रकारच्या संहतीचे रेखाचित्र आकृति १३-६ मध्ये दर्शविले आहे. वरील प्रकारच्या साधनाने मानवी जीवनास जास्त हितकारी केलेला वायु आधुनिक नाट्यगृहे, चित्रपटगृहे इत्यादीच्या निरनिराळ्या भागात खेळविला जातो.

### प्रश्न

(१) सापेक्ष आकलेदाची व्याख्या द्या. रेंनोच्या उन्डमानाचे वर्णन देऊन या उपकरणाच्या साहाय्याने केलेल्या सापेक्ष आकलेदाचे गणन जास्त परिशुद्ध का असते ते सविस्तर सागा.

(२) आर्द्र आणि शुष्क तापमानाच्या साहाय्याने सापेक्ष आकलेदाची अर्हा कशी निश्चित करतात ते लिहा.

(३) प्रवाण्याने अनुविद्ध असलेल्या जायक वातीची परिमा २०० घन मि मा असून या आर्द्रवायूचे निपीड ७५ मि भा. आहे आणि या वातीचा ताप १५° स. आहे. १५° स. तार असताना अनुविद्ध प्रवाण्याचे निपीड १२७ मि. मा. असल्यास या मिश्रणातील कोरड्या जायेय वातीची श्. ता. नि. स्थितोतील परिमा किती असावी ?

(४) २७ प्रत्य परिमेचा वायु प्रवाण्य शोषण करणाऱ्या नळपातून प्रवाहित केल्यानंतर असे आडडून आले की, नळपाचा मार ०.२५५ धान्य वाड्या वायुमण्डलाचा ताप ३०° स. असल्यास सापेक्ष आकलेदाची अर्हा काडा (३०° स तापावर जलाचे मूण्डळ बाण्य निपीड ३१.५ मि. मा आहे).

(५) एका विशिष्ट तापावर ५०० घ. शि. मा. वाति प्रवाप्पाने अनुविद्ध आहे. ह्याच तापावर अनुविद्ध प्रवाप्प निपीड १५ सि. मा. असून आर्द्र वायूचे निपीड ७९.५ शि. मा. आहे. समतापस्थितीत वाति आणि प्रवाप्प यांच्या मिश्रणाची परिमा अर्धो केल्यास, परिणामी निपीड किती होईल ?

---

## ऊष्म्याचें स्वरूप

ऊष्मा मिळाल्याने ताप वाढून वस्तूची परिमा वाढते; विशिष्ट तापस्थितीत ऊष्मा मिळाल्यास साद्राचे तरलन होतं अथवा तरलाचे वाष्पन होते इत्यादी घटनांचे मागील प्रकरणात विवेचन केले आहे. ऊष्मा मापनाचेहि विस्तृत विवेचन मागील काही प्रकरणात केले आहे. तथापि येथपावेतो ऊष्म्याचें स्वरूप काय असावे या विषयी फारच थोडी चर्चा केली आहे.

या प्रकरणात ऊष्म्याच्या स्वरूपाविषयी आधुनिक सपरीक्षेने सिद्ध झालेल्या अनुमानाचे विवेचन करून ऊष्मा हे ऊर्जेचे एक स्वरूप आहे हा निष्कर्ष सिद्धातरूपात दर्शविला आहे. या विवेचनाच्या अनुषंगाने वातीसवधी काही घटनांचे स्पष्टीकरणहि या प्रकरणात केले आहे.

### ताप प्रवैगिकीचा पहिला नियम

१९ व्या शतकाच्या प्रारंभापर्यंत ऊष्मा ह एक प्रवाही द्रव्य असावे अशी कल्पना शास्त्रीय जगतात प्रसून असून या प्रवाही द्रव्यास 'उप द्रव' (caloric) ही मजा दिलेली होती. वाति आणि तरल भूतद्रव्ये ज्या प्रमाणे उच्चस्थानावरून नीच स्थानावर प्रवाहित होतात त्याचप्रमाणे जास्त ताप असलेल्या वस्तूतून न्यून ताप असलेल्या वस्तूत उपद्रव्य प्रवाहित होतं आणि न्यून ताप असलेल्या वस्तूचा ताप वाढतो असे वस्तूच्या ताप-परिवर्तनाचे स्पष्टीकरण त्या काळात करण्यात येत असे.

उपद्रव्याला भार असावा किंवा न भारहीन असावे, या विषयी

निरनिराळ्या कल्पना होया काऊंट रम्फोर्ड हा अमेरिकन गृहस्व  
बव्हेरिया देशातील शतघ्नीच्या निर्माती कार्यावर नियुक्त होता. (काऊंट  
रम्फोर्ड ही पदवी मिळण्यापूर्वी ह्या गृहस्थाचे नाव बॅंजामिन थॉमसन  
होते) ह्या गृहस्थाने ऊष्मा प्राप्त होणाऱ्या घटनाचा मूलगामी  
अभ्यास केला (इसवी सन १७९८). रम्फोर्डने सपरीक्षेने सिद्ध केले की  
वस्तूचा ताप बराच वाढल्याने त्यातील ऊष्माराशी वाढली तरी  
वस्तूच्या भारात परिवर्तन झालेले दिसत नाही. यावरून उपद्रव्याला  
भार नसावा हे स्पष्ट झाले.

छिद्रकाच्या साहाय्याने शतघ्नीच्या रम्भात विवर करताना  
बराच ऊष्मा उत्पन्न होतो. या घटनेचे कारण असे देष्यात घेई की  
शतघ्नीला छिद्रकाच्या साहाय्याने विवर करताना काही धातुद्रव्याचे  
चूर्ण होते आणि नसे चूर्ण होताना, धातूतील ऊष्मा ओले वस्त्र  
पिळून पाणी काढल्याप्रमाणे धातूतून वाहेर टाकला जातो. बरील  
कल्पना सत्य मानल्यास समतापस्थितीत धातूचा खड आणि धातुचूर्ण  
यातील ऊष्माराशी भिन्न असाव्यात असे मानावे लागते धातुखड  
आणि धातुचूर्ण याचा आपेक्षिक ऊष्मा समान असतो असे रम्फोर्डने  
दाखविले. म्हणजे समान प्ज अमलेला धातुखड आणि धातुचूर्ण  
याचा ऊष्मा भिन्न भिन्न तापक्षेत्रात साग्न्याच प्रमाणात वाढतो  
यावरून एका विशिष्ट तापावर चूर्ण करताना धातूतील ऊष्माराशी  
न्यून व्हावी ही कल्पना तितकीशी ग्राह्य वाटत नाही. विवर पाड-  
ण्याच्या श्रियेन बोयट छिद्रक (blunt borer) वापरल्यास धातूचे  
चूर्ण वऱ्याच अल्प प्रमाणात होते आणि (१) छिद्रकाची क्रिया  
दीर्घकाळ चालू राहिल्यास ऊष्माराशीची अर्हा बरीच वाढविता  
येते नसेच, (२) जितक्या शीघ्रतेने छिद्रकाची सघर्ष-क्रिया करावी  
तितक्याच शीघ्रतेने ऊष्माराशीची प्रचिती येते, असे रम्फोर्डला  
आढळून आले. पूर्वीच्या तर्कपद्धतीचा अवलंब घेत्यास धातूच्या अल्प-

पूजाचे चूर्ण करून अपरिमित ऊष्मा उत्पन्न होऊ शकतो असे मानण्याची आपत्ति येते छिद्रक फिंग्विन्यात सधर्पबलाविरुद्ध कर्म करताना यांत्रिक ऊर्जेचा जितक्या शोषनेने व्यय होतो तितक्याच शोषतेने ऊष्माची प्रचिती येते यांत्रिक ऊर्जा, आणि ऊष्मा याचा हा सधर्प लक्षात घेतल्यास यांत्रिक-ऊर्जेचे रूपांतर होऊन ऊष्मा मिळतो असे तर्काचा पटणारे ऊष्मा स्वरूपाविषयीचे अनुमान करता येईल. ऊष्मा हा गति-ऊर्जेचे एक स्वरूप असावे असे अनुमान रम्फोर्डने केले यानंतर सर हफ्रे डेव्ही या भागल शास्त्रज्ञाने दोन हिमखंड परस्परावर घासून हिम पूर्णपणे वितळण्याइतका ऊष्मा उत्पन्न होतो असे सपरीक्षेने सिद्ध केले. हिमाच्या तरलनाला लागणारा ऊष्मा शीत हिम दाबून किंवा पिळून हिमातूनच मिळतो असे मानणे जरा चमत्कारिक वाटते यापेक्षा हिमखण्ड परस्परावर घासताना सधर्प बलाविरुद्ध व्यय झालेल्या यांत्रिक ऊर्जेचे रूपांतर ऊष्मांत हाऊन या ऊष्माने हिमाचे पाणी होत असे अनुमान जास्त मयुक्तिक वाटते ऊष्मा आणि यांत्रिक ऊर्जा यासंबंधी आपणाम परिचित अशा काही घटनांचा उल्लेख येथे करणे अप्रासंगिक होणार नाही तळहात एकमेकावर घासून हातास थोडा ऊष्मा मिळतो या घटनेचा आपण यडीच्या दिवसात उपयोग करतो काही कस्य जाती विशिष्ट जातीची लकडे एकमेकावर घासून किम्बव उत्पन्न करतात आगपटीची काडी पेटीच्या विशिष्ट पृष्ठावर घासण्याने काडीच्या टोकावरील ज्वालापाही मिश्रण पेट घेत सधर्प आणि ऊष्मा याचा सधर्प असलेल्या इतर घटनांचे स्पष्टीकरण हि आपणास यावरून मुचेल

सधर्प बलाविरुद्ध व्यय झालेली यांत्रिक ऊर्जांरानी आणि रूपाणामून मिळालेली ऊष्माराणी या दोहूंचे परिणुड मापन करून यांत्रिक ऊर्जा आणि ऊष्मा यांच्या परस्पर रूपांतराचा र्दयतामक



(quantitative) स्वरूपाचा स्थिर संबंध जूल या आग्ल शास्त्रज्ञाने भिन्न भिन्न सपरीक्षाद्वारे निश्चित केला (इसवी सन १८४८).

जूलने असे दाखविले की ज्या घटनात यांत्रिक ऊर्जेचा व्यय होऊन ऊष्म्याची प्रचिती येते त्या सर्व घटनात व्यय झालेल्या यांत्रिक ऊर्जेची अर्हा कृ अमून यापामून मिळालेल्या ऊष्माराशीची अर्हा ऊ असल्यास,  $\frac{K}{J}$  या निष्पत्तीची अर्हा स्थिर असते. ही स्थिर अर्हा या ने दर्शविल्यास,

$$\frac{K}{J} = \text{या} \dots \dots \dots \text{स. १४-१}$$

ऊर्जा-स्थिरतेच्या सिद्धांताप्रमाणे वरील ऊ ऊष्माराशीच्या व्ययाने (या × ऊ) एवढी यांत्रिक ऊर्जा मिळणे अवश्य आहे.

ऊष्माराशी आणि यांत्रिक ऊर्जा यांच्या परस्परपरिवर्तनाच्या वरील नियमास 'ताप प्रवर्गिकीचा (thermodynamics) पहिला नियम म्हणतात

$\frac{K}{J}$  या निष्पत्तीच्या स्थिर अर्हेला पुढील अर्थ देता येईल

कल्पना करू की  $K_1$ , इतक्या यांत्रिक ऊर्जेच्या व्ययाने १ उप ऊष्मा मिळतो

$$\therefore \frac{K_1}{1} = \text{या}, \quad \therefore K_1 = \text{या}$$

म्हणजे या अर्हा असलेल्या यांत्रिक उर्जेचा व्यय होऊन १ उप ऊष्मा मिळतो १ उप ऊष्माराशीचा या हा 'यांत्रिक समाहं' (mechanical equivalent) आहे असे म्हणता येईल या ही राशि ऊष्म्याचा यांत्रिक समाहं आहे अशी भाषा रुढ आहे.



असतात या दोन्याच्या खालच्या टोकाला पु मा समान पुजाचे भ, भ भार वाधलेले आहेत च खीळ काढून घेऊन आणि घ रम्म योग्य दिशेन फिरवून भ भार वर उचलतात नंतर च खीळ बसवून घ रम मोकळा सोडताच भ भाराच्या अधोगत स्थानातराने घ रम्म आणि त्याबरोबर मन्यनदण्ड परिभ्रमित्त होतो भाराच अधोगत विस्थापन छ असल्यास दोन भाराच्या (२ × पु × भू × छ) या स्थिति-ऊर्जेचा उपमानातील पाणी घुसळण्यात व्यय होऊन पाण्याचा ताप वाढतो भार भूमोशी पोचताच च खीळ काढून घेऊन घ रम फिरवून भार वर उचलतात च खीळ बसवून पुन भ भार खाली घेताना वरील प्रमाणेच स्थिति-ऊर्जेचा पाणी घुसळण्यात व्यय होतो अशा प्रकारे भ भार म वेळा खाली घेऊन उपमान आणि त्यातील पाणी याचा ताप त घ वाढल्यास,

$$२ \times पु \times भू \times छ \times स = या \times ज \times त$$

वरील समीकाराने उपमान आणि त्यातील पाणी याचा जलसमाहू ज आहे

वरील समीकारातील राशीच मापन करून या ह्या स्थिराकाच गणन करता येत परिशुद्ध गणनात जूलने पुढील प्रमाणे शोधन केऊ

(१) भूमोपाशी भार काही प्रवेगाने पाचतात त्यावेळी त्यातील गति-ऊर्जेचे रूपान्तर होऊन झालेला ऊष्मा उपमानास न मिळता त्या भारास आणि बाहेरील भूमोसच मिळतो भाराची ही गति-ऊर्जा त्याच्या व्यय झालेल्या स्थिति-ऊर्जेचा एक भाग असल्याने (२ स पु छ भू-स पू व<sup>२</sup>) इतक्याच ऊर्जेचा रूपांतरित ऊष्मा उपमानास मिळतो याच वे हा भूमोजवळचा भाराचा प्रवेग आहे

(२) आवृषि इत्यादि उपमानाच्या बाहेरील भागातील मध्य वेगवेगळ्या व्यय झालेल्या ऊर्जेचा ऊष्मा उपमानास मिळत नाही

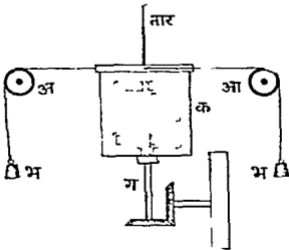
(३) सपरीक्षेच्या कालावधीत विकिरण इत्यादि क्रियांनी उपमानातील काही ऊष्मा सभोवार सत्रामित होतो उपमानातील काही ऊष्मा अशा प्रकार सत्रामित झाला नसता तर प्रत्यक्ष वाचलेल्या तापवर्धनापेक्षा उपमानाच तापवर्धन थोडे जास्त झाले असते प्रत्यक्ष तापवर्धन  $t^{\circ}$  असल्यास  $(t + t_1)^{\circ}$  हे सोधित तापवर्धन परिशुद्ध गणनात योजिले पाहिजे  $t_1^{\circ}$  हे तापशोधन योग्य प्रकारे करून पुढील समीकाराने या स्थिराकाचे परिशुद्ध गणन करता येते

$$s (2 \theta \text{ पु छ} - \text{पु वे}^2 - v) = या ज (t + t_1)$$

घरील समीकारात भूमीशी पोचताना (पु वे<sup>२</sup>) ही दोन भाराची गतिऊर्जा असून प्रत्येक भारपतनात अ आणि आ आकृषीच्या घर्षणात व ह्या यांत्रिक ऊर्जेचा व्यय होतो जूळच्या सपरीक्षेत भार प्रत्येक वळी खाली पडताना स्थिति-ऊर्जेपासून मिळालेली ऊष्माराशी अल्प असल्याने, भारपतन अनेक वेळा केल्यानंतरच उपमानातील पाण्याचा ताप परिशुद्धतेने मापण्याइतका वाढतो यामुळे सपरीक्षेला बराच कालावधी लागतो आणि या दीर्घ काळात उपमानातून निरनिराळ्या प्रकारानी सभोवार सत्रामित होणारी ऊष्माराशी वाढते अशातच या ऊष्माहानीकरता योजलेली तापशाबनाची अर्हाहि वाढते हे तापशोधन तिनकेस परिशुद्ध असे शक्य नाही, म्हणून परिशुद्ध निश्चमनात, विकिरण इत्यादींनी होणाऱ्या ऊष्माहानिकरता योजलेले  $t_1$  हे तापशोधन  $t$  या प्रत्यक्ष तापवर्धनापेक्षा बरेच अल्प असणे इष्ट असते प्रा रोलेण्ड (Prof. Rowland) या दास्त-ज्ञाने योजल्या साधनात गभाच्या (engine) साहाय्याने यांत्रिक कर्म धोघतेने होऊन अल्पकाळात सपरीक्षा पूर्ण होते  $t^{\circ}$  हे प्रत्यक्ष तापवर्धन बरेच जास्त होऊन स्वामानाने  $t_1$  तापशोधन हे उपयोगीय असणे या ह्या स्थिराकाच्या गणनात ज्यास्त परिशुद्धता येते

## रोलडची परिशुद्ध यांत्रिक समाहं रीति

'क' उपमानाच्या वर्तुळाकार लाकडी झाकणाचा मध्य बिंदु तारेला खिळवून उपमान तारेनें टागलेल असते (आकृति १४-२ पाहा) या झाकणाच्या एका व्यासावरील दोन टोकावरून दोन बळकट दोऱ्या धातूज पातळीत नेऊन अल्प सघर्ष असलेल्या अ आणि आ आकृपीथरून खाली टाकलेल्या असतात या दोऱ्यांच्या अधोगत भागास पु या समान पुजाचे भार म, भ वाधलेले असतात झाकणाचा व्यास व असल्यास म भाराच्या योगाने (पु  $\times$  भू  $\times$  व) इतकी विभ्रमिषा असल्या मिथुनाची उपमानावर क्रिया होते उपमानाच्या तळातून बसविलेला ग मयनदण्ड यत्राच्या साहाय्याने शीघ्रतेने फिरविता येतो मयनदण्ड फिरताना मयन दडावरील फल (vane) उपमानातील स्थिर असलेल्या फलांच्या मधील भागातून परिभ्रमित होतात आणि



यामुळे पाण्यात गति उत्पन्न होते हे गतिमान पाणी उपमानाच्या भित्तोवरील फ्लॉवर येताच त्याची गति थावून उपमानान फिरण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न होते. या प्रवृत्तीची विभ्रमिषा  $(\rho \times \mu \times v)$  या विभ्रमिषे इतकी असून तिची दिशा म नार- वलाच्या विभ्रमिषेविरुद्ध असल्यास, मग्न्यनदण्ड नियमित शीघ्रतेने फिरत असता तारेने टागलेले उपमान स्थिर असते. यावद्दत, उपमानावरील पाण्याच्या त्रियेची विभ्रमिषा  $(\rho \times \mu \times v)$  इतकी असल्यास प्रतिक्रिया नियमाप्रमाणे उपमानातील स्थिर फलाच्या पाण्यावरील प्रतिक्रियेची विभ्रमिषा  $(\rho \times \mu \times v)$  असणे अवश्य आहे हे लक्षात घेईल पाण्यात समूहगति नसते म्हणून मग्न्यनदण्डाची पाण्यावरील त्रियेची विभ्रमिषा  $(\rho \times \mu \times v)$  इतकीच पण उपमानाच्या त्रियेविरुद्ध असते, म्हणजे मग्न्यनदण्डाची पाण्यावरील क्रिया  $(\rho \times \mu \times v)$  या विभ्रमिषेने मापता येईल. म्हणून प्रतिक्रिया नियमाप्रमाणे मग्न्यनदण्डावरील पाण्याच्या त्रियेची विभ्र- मिषा  $(\rho \times \mu \times v)$  असून या मिथून त्रियेविरुद्ध मग्न्यनदण्ड म वेळा फिरण्यात  $(m \times r \times \omega \times \rho \times \mu \times v)$  अर्हा असल्या यात्रिक ऊर्जेचा व्यय होतो

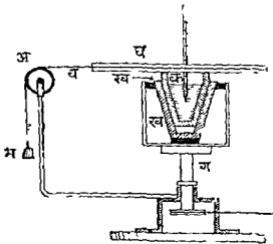
$$r \times \omega \times s \times \rho \times \mu \times v = \omega \times r \times t$$

उपमान आणि त्यातील पाणी याचा प्रत्युत्साहं ज असून पाण्याचे तापवर्धन  $t^{\circ}$  स आहे जूल आणि रोलड मानी निदिबन वेळेच्या या च्या अहा अनुक्रम  $4.186 \times 10^3$   $\frac{\text{ग्रम}}{\text{उप}}$  आणि

$4.186 \times 10^3$   $\frac{\text{ग्रम}}{\text{उप}}$  असा आहेत साध्या उत्करणात

प्रयोग करून जूलने मापलेली निदिबयनांतील परिणुद्धता वाग्यान- प्यामासमी आहे.

प्रयोगशाळेत खालील दोन रीतींचा उपयोग करून या ह्या स्थिरांकांचे निश्चयन करण्याचा प्रघात आहे आकृति १४-३ मध्ये दर्शविलेली क आणि ख ही दोन पितळोची शकवावार पात्रे एकाच एक वसविलेली असतात. स पात्र लाकडी पेटेत पक्कें खिळविलेले असून ग दण्ड फिरविल्याने ग ला परिभ्रमणाची गति देता येते. स फिरू लागताच सस्परी क पात्रातहि परिभ्रमणाची प्रवृत्ति उत्पन्न होते क पात्रात पाणी असून या पात्रास घ हे मोठ्या व्यासाचे लाकडी झाकण खिळविलेले असते. झाकणाच्या परिधीला बांधलेली व ही बळकट दोरी क्षैतिज पातळीत असून अ आवृषीवरून खाली सोडलेल्या या दोरीच्या टोकास पु पुजाचा भ हा योग्य भार बडकविलेला असतो. ख च्या परिभ्रमणाने 'क' पात्रात परिभ्रमणाची प्रवृत्ति होते तथापि क स्थिर असल्यास स च्या क वरील क्रियेची विभ्रमिया (पु × भू × व) इतकी असणें अवश्य



आ १४-३

आहे हे लक्षात घेईल, तसेच प्रतिक्रियेच्या नियमाप्रमाणे क च्या व बरील प्रतिक्रियेची विभ्रमिपा (पु × मू × त्र) अमून या क्रियेविहृद स च्या परिभ्रमणाची संख्या स अमल्यास या परिभ्रमणान व्यय झालेली यात्रिक ऊर्जा स × २ प्या × पु × मू × त्र इतकी असते.

$$\therefore \text{म} \times २. \text{प्या} \times \text{पु} \text{ मू. त्र} = \text{या} \times \text{ज} \times \text{त}$$

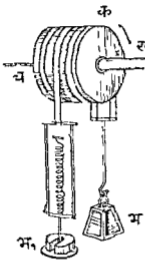
बरील समीकारात त ही क च्या झारणाची त्रिज्या अमून क, स आणि पाणी याचा जलममाहं ज अमून त हें पाण्याचे तापवर्धन आहे.

क ताव्याचा रम स या कुसवाहक अज्ञाभोवनी फिरवित्त येतो आश्रुति १४-४ पाहा. या रमाच्या वत्रपुष्ठावर गुडाळनेच्या रेणमी पट्ट्याच्या दोन टोकास पु आणि पु, पुजाचे अनुक्रमे म आणि म, हे दोन भार वाघलेले असतात. म, पेशा म चा पुज जास्त अमल्याने म भारात खाली येण्याची प्रवृत्ति उत्पन्न होते क रम वाणाच्या दिशेने फिरवून म आणि म, या माराच्या रेणमी पट्ट्याच्या द्वार झालेल्या क्रियेची विभ्रमिपा (पु मू त्र - पु, मू त्र) इतकी म्हणजे (पु - पु,) मू × त्र इतकी असते भाराच्या क्रियेविहृद क रम वाणाच्या दिशेने फिरवित्तान. रमाच्या या परिभ्रमणाची सख्या स अमल्यास या परिभ्रमणान व्यय झालेली ऊर्जा, स × २ × प्या × त्र (म - म,) × मू इतकी असते

$$\therefore \text{स. २ प्या. त्र (पु - पु,) मू} = \text{या. ज त}$$

या समीकारान रमाच्या अनुप्रस्थ छेदाची त ही त्रिज्या अमून ज हा रमाचा जलममाहं आहे आणि रमाचे तापवर्धन स° अज्ञ आहे रमाचा ताप मापण्याकरता रमाच्या अज्ञावरील काही नाय





आ. १४-४

पोखळ असून त्यात आकृती १४-४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे च तापमान वसविता येते रभाचा वक्रपृष्ठ कुसवाहकाने झाकला असल्याने रम पृष्ठावरून मभोवार विकिरण इत्यादीनी सत्रामित होणारी उष्माराशि उपेक्षणीय असते.

सूर्याचा ऊष्मा लाकडात रसायनिक ऊर्जेच्या स्वरूपात साठविला असतो लाकडाच्या अथवा कोळशाच्या ज्वलनाने हा ऊष्मा पाण्यास मिळून त्याचे सपीडित प्रवाप्य होत. गत्रामध्ये या सपीडित प्रवाप्याच्या विस्तरणाने उपयुक्त यांत्रिक कर्म घडते या

घटनेत ऊष्मा-ऊर्जेपासून रसायनिक ऊर्जा, नंतर पुन ऊष्मा-ऊर्जा आणि त्यानंतर शेवटी यांत्रिक कर्म असे ऊर्जेचे रूपांतर होत. घवघव्याच्या पाण्यातील स्थिति-ऊर्जेच्या साहाय्याने विद्युत्जन (electric generator) फिरवून त्यापासून प्राप्त झालेल्या विद्युत्-ऊर्जेने चलिवाचा गत्र आणि इतर विविध यंत्रे यास ऊर्जा मिळवत ती चार्यक्षम होतात. यांत्रिक ऊर्जा आणि ऊष्मा यांच्या परस्पर परिवर्तन विवेचनावरून लक्षात येईल की, अशा प्रकारचे परिवर्तन हे विश्वातील एकदर ऊर्जा-स्थिरतेचे एक प्रत्यंतर आहे. या अर्थाने ताप-प्रवैगिकीचा पहिला नियम हा ऊर्जा-स्थिरता सिद्धान्ताचा एक भाग आहे अखिल विश्वातील ऊर्जा स्थिर असून, विश्वातील प्रत्येक घटनेत ऊर्जेचे एका स्वरूपांतून दुसऱ्या स्वरूपात नियमबद्ध रूपांतर होते. विश्वातील ऊर्जा अविनाश्य (indestructible) आणि

असृज्य (uncreatable) आहे असाच वरील सर्व घटनांचा निष्कर्ष निघतो. आईनस्टाईनच्या सापेक्षता (relativity) सिद्धांताप्रमाणे भूतद्रव्य आणि ऊर्जा ह्यांचेहि परस्परांत नियमबद्ध रूपांतर होते. सापेक्षतेतील ह्या उपसिद्धांताची संपरोक्षेने प्रचिती आलेली आहे. भूतद्रव्याच्या रूपांतराने मिळणारी ऊर्जांराशि वरीच मोठी असते. भूतद्रव्याचे ऊर्जेत रूपांतर होण्याची घटना अणु-प्रस्फोटन (atom bomb) योजली आहे.

तापवर्धनाने वस्तुद्रव्याच्या गुणधर्मांत होणाऱ्या काही परिवर्तनांचे स्पष्टीकरण द्रव्य गति-सिद्धांत (kinetic theory of matter) व ऊष्मा आणि गति-ऊर्जा यांच्या परस्पर परिवर्तनाचा नियम यांच्या साहाय्याने करता येत. भूतद्रव्याचे व्यूहाणु स्थिर नमून या व्यूहाणुस गति ऊर्जा असते, ही द्रव्य गति-सिद्धांताची मध्यवर्ती कल्पना आहे. साद्राच्या व्यूहाणुस आवेपनाची गति-ऊर्जा आणि स्थिति-ऊर्जा असून ताप वाढल्याने या व्यूहाणुची माध्य आवेपन ऊर्जा- (mean vibrational energy) वाढते. ताप न्यून होत असल्यास आवेपनाची माध्य ऊर्जा न्यून होते. तरल आणि वायु यांच्या व्यूहाणुस, आवेपन, परिभ्रमण आणि स्थानान्तरण या तीन प्रकारच्या गतीं संभवतात. स्थानान्तरण गति-ऊर्जा ज्यासून असलेले व्यूहाणु तलावनि बलाविद्ध कर्म करून तरलाच्या मुक्तपृष्ठावर्षून जेव्हा बाहेर जाणान तेव्हा तरलाचे उद्‌वापन होते असे म्हणता येईल. ज्यासून गति-ऊर्जा असलेले व्यूहाणु अशा प्रकारे तरलातून बाहेर पडल्यास तरलात शेष राहिलेल्या व्यूहाणुची माध्य ऊर्जा अन्य होते म्हणजे तरलाचा ताप न्यून होतो उद्‌वापनाने उरलेल्या तरलाचे शीतल होण्याचे कारण वरीलप्रमाणे आहे. याच विचारसरणीने वातिद्रव्याच्या स्थिर परिमा स्थितीतील आणि स्थिर निरोड स्थितीतील मिश्र आवेपिक उष्मासंवाहक स्पष्टीकरण करता



आ. १४-५

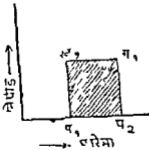
येते. या स्पष्टीकरणास साहाय्यक अशा काही घटनांचे प्रथम विवेचन करू. आकृति १४-५ मध्ये दर्शविलेल्या क रभपात्रातील वातीचे निपीड ना अमून रभातील ख मुपलाचे स्थिर निपीड-स्थितीत द विस्थापन झाल्यास बाह्य निपीडाविरुद्ध वातीने केलेले कर्म पुढीलप्रमाणे दर्शविता येईल.

$$\begin{aligned} \text{कर्म} &= \text{मुपलावरील बल} \times \text{मुपलाचे विस्थापन} \\ &= \text{निपीड} \times \text{मुपलाच्या अनुप्रस्थ छेदाचे क्षेत्रफळ} \times \text{विस्थापन} \\ &= \text{ना} \times \text{क्षे} \times \text{द} \end{aligned}$$

मुपलाच्या द विस्थापनाने रभपात्रातील वातीची परिमा क्षे  $\times$  द इतकी वाढने.

$$\therefore \text{कर्म} = \text{ना} \times \text{वातीच्या परिमेचे परिवर्तन}$$

वाति आणि तरल याच्या स्थिर निपीड विस्तरणातील बाह्य निपीडाविरुद्ध केलेल्या कर्माची अर्हा वरील प्रमाणे गणन करतांना वाति अथवा तरल रभपात्रातच असण्याची आवश्यकता नाही ह योड्या विचाराती लक्षात येईल.



आ. १४-६

विन्दुरेखा पश्चावर परिमा आणि निपीड या दोन अक्षाच्या द्वारे वरील कर्मांचे प्रतिरूपण करता येते (आकृति १४-६ पाहा) प्रार भीची परिमा आणि विस्थापना-

नतरची स्थिती अनुक्रमे ख, आणि ग, या बिंदूनी दर्शविल्यात,

$$\begin{aligned} \text{कर्म} &= \text{ना} \times \text{परिमावर्धन} \\ &= \text{ख, प}_1 \times \text{ख, ग}_1 \\ &= \text{ख, ग}_1 \text{प}_2 \text{प}_1 \text{ ह्या आयनाचे क्षेत्रफळ} \end{aligned}$$

पाणी नवळताना पाण्याचे परिमावर्धन होते या परिमावर्धनाच्या घटनेत वायुमंडलाच्या बाह्य निपीडाविरुद्ध होणाऱ्या बर्माची अर्धा पुढीलप्रमाणे गणन करता येते.

१००° सा तापमानावर १ घान्य पाण्याची परिमा आणि १ घान्य प्रवाप्पाची परिमा स्थूल मानाने अनुक्रमे १ प सि. मा. आणि १६९० घ सि. मा आहेत

$७६ \times १३६ \times ९८० \frac{\text{घाबल}}{(\text{सि मा.})^2}$  या वायुमंडलीय निपीडाविरुद्ध विस्तरणाने झालेले कर्म,

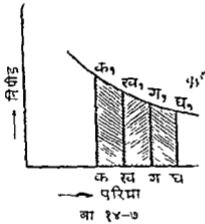
$$\text{कर्म} = ७६ \times १३६ \times ९८० \times (१६९० - १) \text{ थम}$$

वरील बर्माची तुल्य उष्माराशि क अमन्यात

$$क = \frac{\text{कर्म}}{\text{या}} = \frac{७६ \times १३६ \times ९८० \times १६८९}{४२ \times १०^७} = ४०७ \text{ उष (स्थूलमानाने)}$$

यावरून असे दिसून येईल की १ घान्य पुत्र अगलेल्या पाण्याच्या उष्वाप्पनाकरता हाणण्याच्या ५३६ उष या गुण

उष्माराशीर्षको ज्वळ ज्वळ ४१ उष इतका उष्मा बाह्य निपीडा-  
विरुद्ध कर्म करण्यात व्यय होतो. तरलस्थितीतून वाति-अवस्थेत  
जाताना तरलाची आतरव्यूहाण्विक ऊर्जा वाढविण्यात (५३६-  
४०७) उष या उष्माराशीचा विनियोग होतो असे मानावे लागते.  
(५३६-४०७) उष या राशीस 'आतर-गुप्तऊष्मा' (internal  
latent heat) म्हणता येईल.



परिमा परिवर्तन होत  
असता निपीडातहि परि-  
वर्तन होत असल्यास,  
कर्मांचे गणन पुढील  
प्रमाणे करता येते  
परिमा निपीड सवध  
दर्शविणाऱ्या वक्ररेषेचे  
क, ख, ग, घ,  
इत्यादि लहान भाग  
घेतल्यास, क, ख, ह  
अल्पपरिवर्तन क, क  
या निपीडावर होणे  
असे म्हणता येईल,

आकृति १४-७ पाहा या परिमा विस्तरणात झालेले कर्म  
पुढीलप्रमाणे दर्शविता येते.

कर्म = क, क × क ख = क क, ख, ख या अक्षर आयताचे क्षेत्रफळ

तसेच ख, ग, यातील अल्पपरिमावर्धनात झालेले कर्म  
ख, ख या निपीडावर होते असे मानल्यास,

कर्म = ख, ख × ख ग = ख ख, ग, ग ह्या अक्षर आयताचे क्षेत्रफळ

यावरून लक्षात येईल की परिमानिषोड परिवर्तन विन्दुरेव पत्रावर क, ख, ग, घ, या वक्राने दर्शविण्यास वक्राचा हा नाग, क, क, घ, ध हे लव आणि परिमात्रस यामघोल क्षेत्रफळाने या परिवर्तनातील कर्म दर्शविता येते.

स्थिरपरिमा स्थितीत १ धान्य पुज वानीचा ताप १° वाढण्यास लागणारा आपेक्षिक ऊष्मा  $\mathcal{U}_p$  असल्यास या ऊष्मा-राशीचा विनियोग व्यूहाणूची गति-ऊर्जा वाढण्यात होतो. त्याच वातीच्या १ धान्य पुजाचा स्थिरनिषोड स्थितीत १° ताप वाढण्यास लागणाऱ्या  $\mathcal{U}_n$  आपेक्षिक ऊष्माच्या राशीपैकी, (१) काही भागाचा विनियोग व्यूहाणूची गति-ऊर्जा वाढविण्यात होतो, तसेच (२) काही भागाचा विनियोग परिमावर्धनातील बाह्य निषोडाविषद केलेल्या कर्माने होता, (३) परिमा वाढल्याने व्यूहाणूच परस्परामघोल अंतर वाढन, व्यूहाणू परस्परास आकर्षित करीत असतील तर, व्यूहाणूमघोल अंतर वाढताना या आकर्षण बलाविषद काही कर्म करण्यासहि ऊर्जेचा व्यय हाईल म्हणजे  $\mathcal{U}_n$  या ऊष्माराशीचा विनियोग तीन प्रकारांनी होईल यापैकी तिसरा प्रकार उपेक्षणीय मानल्यास,  $\mathcal{U}_n$  आणि  $\mathcal{U}_p$  यातील भेद, हा बाह्य निषोडाविषद परिमा विस्तरणात होणाऱ्या कर्मराशीने दाखविता येता असे दिसून येईल

$$\text{या } (\mathcal{U}_n - \mathcal{U}_p) = \text{कर्म} = \text{ना} \times 1^\circ \text{ तापवर्धनात आलेख}$$

{परिमा विस्तरण

$$= \text{ना} (p_2 - p_1)$$

बरोल समीकारान १ धान्य वाति-पुजाची (त) आणि

( $t + 1$ ) या तापावरील समनिपीड स्थितीतील परिमा अनुक्रमे  $p_1$  आणि  $p_2$  यानी दर्शविली आहे.

वाति-समीकाराच्या साहाय्याने निपीड-परिमा-ताप संबंध पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल.

$$\text{ना. } p_1 = \text{स्था. ता}$$

$$\text{ना. } p_2 = \text{स्था (ता + १)}$$

$$\text{ना ( } p_2 - p_1 \text{ )} = \text{स्था}$$

$$= \frac{१ \text{ घान्य वातीची परिमा } \times \text{वायुमंडलीय ऋजुनिपीड}}{२७३}$$

ऋजु ताप निपीड स्थितीत १ घ. शि. मा. वायूचा पुज  $०.००१२९$  घान्य असल्याने,

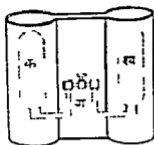
$$\text{स्था} = \frac{(७६ \times १३.६ \times ९८०)}{२७३} \times \frac{१}{०.०१२९}$$

$$\text{या ( } \alpha_n - \alpha_p \text{ )} = \text{स्था}$$

यावरून स्था,  $\alpha_n$  आणि  $\alpha_p$  यांच्या अर्ही माहिती असल्यास 'या' यात्रिक समाहचि गणन करता येते.

अर्थातच हे गणन अंतराभ्यूहाण्विक-बल (inter molecular force) उपेक्षणीय मानून केल्यामुळे वरील गणनात तितकीशी शुद्धता असणे शक्य नसते

परिमा वाढताना व्यूहाणुबलाविण्ड केलेले कर्म उपेक्षणीय



आ १४-८

असतनें अमे जूलने पुढील सपरीक्षेने दाखवित आहति १४-८ मधील क घातुपात्रात सपीडित वायु अमून ख पात्र वातिवृषोदघाने निर्वात केलेले अमत क आणि ख एका जलाशयान ठेवून स्थिर ताप झाल्यापर ता पात्रे ग तोटीने जोडतात. ख मध्ये वातिनिपाद शून्य असल्यामुळे क मधील वायूचे ख मधील परिमते विस्तरण होताना विरोधी

निषेध शून्य असल्यामुळे या वायूचे या विस्तरणात झालेले बाह्यकर्म (external work) शून्य अमत परतु वायूची परिमा वाढल्याने व्युहाणूचे परस्परांमधील अंतर वाढते अंतर वाढण्यात अंतराव्युहाणूबलाविरुद्ध कर्म होत असल्यास या कर्मात लागणारा ऊष्मा पाण्यापामून मिळत त्याचा ताप न्यून होईल जूलच्या सपरीक्षेने क आणि ख जोडल्यानंतर पाण्याच्या तापाचे परिवर्तन उपेक्षणीय अमते अस दिसले यावहून वायूतील अंतराव्युहाणूबलाविरुद्ध केलेल कर्म शून्य अमावे अथवा वरच अल्प असात्र अस म्हणता येईल जूल आणि थॉमसन या शास्त्रज्ञानी योजलेल्या रन्ध्र प्रमरण (porous plug) सपरीक्षेत दिमून झाले की सामान्यत वातीतील अंतराव्युहाणूबल अन्य असत काही परिस्थितीत या बलाविरुद्ध कर्म करून वानोचा ताप न्यून करता यती (वायूच तरलन पृष्ठ ३१९ पाहा)

**समताप परिवर्तन आणि समोप परिवर्तन**  
(isothermal change and adiabatic change)

वस्तूच्या कोणत्याही परिवर्तनात ताप स्थिर असल्यास या परिवर्तनास 'समताप परिवर्तन' म्हणतात.



साधारण निषीडवर्धनाने साद्र आणि वाति यांचे परिमा-  
परिवर्तन अल्प असतें साद्र आणि तरल यांच्या समताप स्थितीतील  
परिमापरिवर्तनाचे विवेचन प्रस्तुत सारख्या पुस्तकान करण्याचा  
प्रघात नाही. वातीचे समताप परिमापरिवर्तन जास्त असल्याने  
याविषयी चर्चा येथे केली आहे. वातीचा समताप स्थितीतील परिमा  
निषीड सयध, बॉईलच्या स ता प. नि नियमाने दर्शवितात

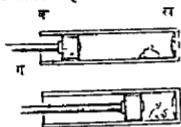
$$\text{निषीड} \times \text{परिमा} = \text{स्थिर अर्हां}$$

परिमा वाढत असल्यास बाह्य निषीडाविह्वद केलेल्या कर्माग,  
ऊर्जेचा व्यय होतो ही ऊर्जा समोवारच्या वस्तु-समूहातून  
ऊष्म्याच्या रूपाने वातीत मिळाल्यास, वाति व्यूहाणूची गति-ऊर्जा  
स्थिर राहून वातीचा ताप स्थिर असतो म्हणजे परिमापरिवर्तन  
समताप स्थितीत होते. रसाचप्रमाणे निषीडवर्धनाने वातीची परिमा  
संकोचत होत असताना बाह्य कर्मांमुळे उत्पन्न झालेला ऊष्मा  
वातीतून समोवार सत्रामित होत असला तरच वातीचे परिमा  
संकोचन समताप स्थितीत होत.

असा प्रकारे विस्तरणात ऊष्मा बाह्यून मिळत असल्यास  
आणि संकोचनात वातीवर बाह्यून झालेल्या कर्माने मिळालेला  
ऊष्मा समोवार सत्रामित होत असल्यास, हे विस्तरण अथवा  
संकोचन समताप स्थितीत होत असे म्हणतात

परिमावर्धनात बाह्य निषीडाविह्वद कराव्या लागणाऱ्या  
कर्माग आवश्यक असणारी ऊष्माराशि समोवारच्या वस्तूतून न  
मिळाल्यास ही ऊष्माराशि व्यूहाणूच्या गति-ऊर्जेतून घेवली गेल्याने  
व्यूहाणूची गति ऊर्जा न्यून होते यामुळे वातीचा ताप न्यून होतो  
तसेच परिमा संकोचनात बाह्यून कर्मां झाल्याने या कर्मांशी मुख्य  
ऊष्माराशि वातीच्या व्यूहाणुमच मिळत वातीचा ताप वाढता.

बरीलप्रमाणे वस्तु-द्रव्यास परिवर्तन होत असता या वस्तुद्रव्यातून ऊष्मादासि समोषार सञ्चालित होत नसल्यास अपवा बाहेरून या वस्तु द्रव्यास ऊष्मादासि मिळत नसल्यास ह्या परिवर्तनास 'समोष परिवर्तन' म्हणतात.



आ. १४-९

क. म या बाबेच्या बळवट नळीत प्रागार-डि-सुन्वेसाने (CS<sub>2</sub>) मिजवण्ळा पांडा कापूस टाकावा (आकृति १४-९ पाहा). ख टोक बंद अनून या नळीतील ग मुषल जोराने नळीत लोटल्यास नळी-

तील वायूचा ताप समोष नकोवनाने वाडून प्रागार डि-सुन्वेसाचे वायू पेटते

दुचाकीच्या सञ्चालील घुपि-नळ्यात वायू भरताना थानि सपीडकाची क्रिया बऱ्याच शीघ्रतेन वेत्यास सपीडकाच्या रमाचा ताप बराच वाटतो. याचें कारण, सपीडकातील वातोचे सकोवन बऱ्याच शीघ्रतेने झाल्याने यात्रिक कर्मांच्या ध्याने वानीला मिळालेला उष्मा तितक्या शीघ्रतेने बाहेर सञ्चालित होत नाही; म्हणून सपीडकाचा आणि त्यातील वायूचा ताप बराच वाडतो. सपीडकाच्या मुषलावर तेलामारखें उपस्नेहन-द्रव्य (lubricant) पुरेमे असल्याने सपीडकातील मुषलाच सघर्ष बल अल्प असते. या अल्प सघर्ष बलाविद्द वेलेले यात्रिक कर्म उपेसणीय असत आणि सघर्ष बलाविद्द केलेल्या उपेसणीय कर्मांचा ऊष्माहि उपेसणीय असतो. यावखून सपीडकाच्या तापवर्धनाचे कारण सपीडकाच्या शीघ्र क्रियेने वानीचे समोष सपीडन होतें हें लक्षण येईल.

वातोच्या समोप परिवर्तनातोल (पा) परिमा आणि (ना) निपीड याचा,सबध पुढीलप्रमाणे दर्शविता येतो.

$$\text{ना पा}^{\text{ऐ}} = \text{स्थिरांक}$$

$$\text{या ममीकारात ऐ} = \frac{\text{ऊ न}}{\text{ऊ प}}$$

ऐ ची अर्हा वातिव्यूहाणूच्या रचनेवर अवलवून आहे एकपरमाण्विक (monatomic) वातोच्या ऐ ची अर्हा १६६ असून व्यूहाणून ज्या मानाने जास्त परमाणू असतील त्या मानाने ऐ ची अर्हा न्यून होते यानाति, पारद, वाष्प इत्यादीत ऐ ची अर्हा १६६ असून, उद्जन, जारव इत्यादि वातीत ऐ ची अर्हा १४४ असते. प्रागार-द्विजारेव इत्यादि वातीत ऐ ची अर्हा १३ असते

### प्रश्न

(१) व्यूहाणूची गतिऊर्जा ही ऊष्म्याची निदर्शक आहे या विधानाच स्पष्टीकरण करा

(२) ताप प्रवृत्तिबोत्ता पहिला नियम लिहा मा नियमाच्या माहात्म्याने ऊर्जा-स्थितेच्या सिद्धाताच विवेचन करा.

(३) समताप परिवर्तन तगच समोप परिवर्तन याच्या व्यंग्या घा. या दोन प्रकारच्या परिवर्तनाची दोन दोन उदाहरणें देऊन त्यांचील घटनाचे स्पष्टीकरण करा

(४) स्थिर निपीड स्थितीतील आणि स्थिर परिमा स्थितीतील

वातीच्या आंशिक उष्मारागीच्या भेदाचे विवेचन करा. हा उष्मारागि भेद माहीत असल्यास 'या'चे गणन कसे करूंग? येंतें हें स्पष्ट करा. हें गणन परिशुद्ध मानता येईल काय ?

(५) शिगाची गोळी अनाम्य पृष्ठतलावर आपटल्याने तिला ताप  $10^{\circ}\text{C}$ . वाढतो शिगाचा आंशिक उष्मा ०.०३ असून ऊर्जेच्या व्ययाने मिट्टालेला सर्व उष्मा गोळीतच असतो असे मानल्यास पृष्ठतलावर आपटतेवेळी गोळीचा वेग किती असावा ?

(६) १००० रुप इनचा उष्मा मिट्टाल्यास त्यामानून ५ कोटीथम इतके कर्म होऊ शकेल काय ? तुमच्या उत्तराची कारणे स्पष्ट लिहा.

## ऊष्मा संक्रामण

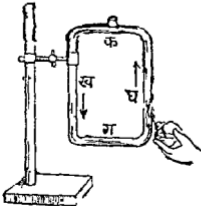
### न्युद्धहन आणि संवाहन

**धातूच्या** सळईचे एक टोक विस्तवात अथवा ज्योतीत बांढी वेंळ ठेवल्यास सळईचे दुसरे टोकहि तापते, पाणी भरलेल्या पात्राचा तळ ज्योतीने तापविल्यास मूक्तपृष्ठादरील पाण्याचाहि ताप वाढतो, या घटना आपणास परिचित आहेत सळईच्या सर्व भागास तिच्या तापलेल्या टोकापासून ऊष्मा मिळतो, म्हणून तिच्या सर्व भागाचा ताप वाढतो याप्रमाणे, उष्णभागातून न्यून ताप असलेल्या भागात होणाऱ्या ऊष्मा संक्रामणाम 'ऊष्मा संवाहन' (conduction of heat) ही संज्ञा आहे तरल, वाति इत्यादि प्रवाही द्रव्याच्या ऊष्ण भागातून ताप न्यून असलेल्या भागात ऊष्मा

पसरण्याच्या घटनेला 'न्युद्धहन' (convection) ही संज्ञा आहे

### न्युद्धहन

पुढील संपरीक्षेने प्रवाही द्रव्यातील न्युद्धहनाच्या क्रियेचा अभ्यास करता येतो क ख ग घ हा समरूप काचतळीचा चौकोन क भागापर्यंत पाण्याने भरलेला आहे आकृति १५-१ पाहा चौकोनाचा घ भाग



ज्योतीने तापविल्यास घ क र ग या मागानि पाण्यांत प्रवाह उत्पन्न होतो. पाणी तापवीत असता रगाचे थोडे वण क भाग तून आंत टाकल्यास विलयनाने रगीत टालेले पाणी वरग मार्गे प्रवाहित होताना दिसते. घ येथील पाण्याचा ताप वाढल्याने तेथील पाण्याची परिमा वाढते. या परिमावर्धनाने तापलेल्या पाण्याची घनता न्यून होऊन हे पाणी घ च्या वरच्या भागाकडे प्रवाहित होते. घ भागातून वर येणाऱ्या पाण्याच्या प्रवाहाने, क येथील पाणी पुढे लोटले जाऊन नळीत वरग या दिशेने पाण्याचा प्रवाह उत्पन्न होतो. वरगघ नळीत दुनरे तरल टावून वरप्रमाणेच तापविल्यास, त्या तरलातहि घ वरग मार्गे प्रवाह उत्पन्न होतो तापलेल्या तरलाची परिमा वाढल्याने त्याची घनता न्यून होऊन या तरलास उर्ध्वगति मिळते आणि या तप्त तरलाच्या स्थानी जास्त घनता असलेले न्यून ताप-स्थितीतील तरल येते. वरील घटनेत तापलेल्या तरलद्रव्याच्या स्थानातराने तरलाच्या सर्व भागात ऊष्मा पसरतो हे दिसून येईल. नित्याच्या व्यवहारातील पाणी तापविल्याच्या पात्रात न्युद्धनाची क्रिया कशी असते हे आकृति १५-२ वरून लक्षात येईल. पात्राच्या तळाशी असलेले पाणी तप्त झाल्याने त्याची परिमा वाढून घनता न्यून होते.

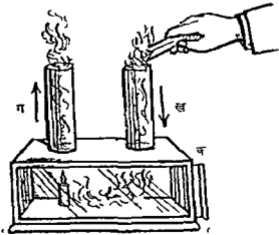


आ. १५-२

न्यून घनतेचे हे ऊन पाणी पात्राच्या मध्यभागातून वर मुक्तपृष्ठाकडे प्रवाहित होते पृष्ठभागाजवळील न्यून तापस्थितीतील पाणी पात्राच्या भितीजवळील भागातून तळाकडे येते

वातीतील न्युद्धनाची पुढील संपरीक्षे-वरून प्रचिती येते आकृति १५-३ मधील क या लाकडी पेट्टीच्या वरच्या भागात ग, ख ही दोन काचेची नळकाडी बसविली आहेत ग नळकाडीच्या खालच्या

भागाजवळ जळती मेणवत्ती ठेवली आहे. ज्योतीमळे तापलेला ऊष्ण वायू ग नळीतून वर जातो आणि न्यून ताप असलेला बाहेरील वायू ख मार्गे पेटित शिरतो ख च्या तोडाशी धुमसता कागद धरल्यास, ख मार्गे धूर पेटित शिरतो. यावरून, ख मार्गे शीत वायू पेटित शिरतो असे दिसते. क पेटोचा समोरचा पाखंड काचेचा असल्यास ख मार्ग उघडा अथवा वद केल्यानंतर ज्योतीत होणाऱ्या परिवर्तन-क्रिया स्पष्ट पाहता येतात खाणीच्या निरनिराळ्या भागात शुद्ध वायू खेळविण्याकरिता वरील सपरीक्षेतील घटनेचा उपयोग करतात खाणीच्या दोन टोकास खोल विहीरी असून एका विहीरीच्या तळाशी भट्टी असते. भट्टीवरील तापलेला वायू ऊर्ध्व दिशेने (आकृति १५-३ मधील ग नळकाड्यातील ऊष्ण वायूप्रमाणे) प्रवाहिन होऊन वर निघून जातो आणि दुसऱ्या विहीरीच्या वरच्या उघड्या भागातून ख प्रमाणे बाहेरील शुद्ध शीत वायू खाणीत शिरतो.



आ. १५-३

भट्टीला घुराडे (chimney) असल्यास, भट्टीतील तप्त वायु न्युट्रनच्या त्रियेने या घुराड्यातून वर जातो आणि बाहेरील शीत वायु भट्टीत गिस्तो या वायूतीळ जाण्याच्या संयोगाने भट्टीतील इंधनाचे (fuel) ज्वलन जास्त शीघ्रतेने होतं. घुराड्यातील उष्ण वायूचा स्तम्भ आणि बाहेरील तितक्याच उंचीचा शीत वायूचा स्तम्भ याची उंची आणि या दोन स्तम्भातील वायूचा तापभेद या दोहोवर न्युट्रनच्या त्रियेतील उष्ण वायूच्या उर्ध्व प्रवाहाची शीघ्रता अवलंबून असते. म्हणून मोठमोठ्या उत्पादन शाळा (factory) दगडाळा इत्यादिकातील भट्ट्याची घुराडी ऊष्ण वायूचा स्तम्भ वाढविण्याकरता बरीच उंच असतात. आगगाडीच्या गमाला (locomotive engine) उंच घुराडे जोडणें शक्य नसतं म्हणून गमालाच्या आखूड घुराड्यातून प्रवाणाचा प्रबल प्रवाह सोडतात. प्रवाणाच्या या प्रबल प्रवाहाने आखूड घुराड्यातील तप्त वायूहि बाहेर प्रवाहित होऊन भट्टीतील इंधनावरील मागात बाहेरील वायूचा प्रवाह येतो यामुळे ज्वलनाची क्रिया शीघ्रतेने होते एका वातीच्या प्रबल प्रवाहाने दुसऱ्या निवट्याची वातीत त्याच दिशेने प्रवाह उत्पन्न होण्याच्या घटनेचे दुसरें उदाहरण प्रयोगशाळेंतील दाहकाच (burner) आहे. या दाहकात दाहकावातीच्या प्रवाहाबरोबर सळजवळील पारखें छिद्रातून बाहेरील वायु येऊन दाहकावातीच्या ज्वलनास साहाय्य होतं

प्रवाहि द्रव्याच्या एका भागाचा ताप वाढल्याने तेथील प्रवाहि-  
 \* द्रव्याची घनता अल्प होऊन योग्य परिस्थितीत त्याच प्रवाह उत्पन्न होताना ही घटना लक्षान आल्यास समुद्रावरून भूमीकडे वाहणारा वारा भूमीवरून समुद्राकडे वाहणारा वारा, पृथ्वीवरील व्यापारोप-  
 योगीवारे (trade winds) महासागरातील पाण्याचे प्रवाह (ocean



currents) इत्यादीची उपपत्ति देता येते. ऊष्ण कटिबधातील तापलेला वायु ऊर्ध्व दिशेने प्रवाहित होतो आणि समशीतोष्ण कटिबधातील त्या मानाने न्यून ताप असलेला वायु, पृथ्वीच्या पृष्ठभागाजवळून ऊष्ण कटिबधाकडे येतो. पृथ्वीच्या पश्चिमेकडून पूर्वेकडील दैनिक परिभ्रम-गतीने उत्तर गोलार्धात हा वायु थेट उत्तरेकडून उष्ण कटिबधाकडे न वाहता ईशान्येकडून वाहतो अन् वाटत दक्षिण गोलार्धात अशा वायूचा प्रवाह आग्नेयकडून असतो दिवसा समुद्राकाठचा भूमि-भाग पाण्यापेक्षा जास्त तापल्याने भूमि-भागावरील तप्त वायु उर्ध्वगतीने वर जातो आणि पाण्याचा ताप तितकासा न वाढल्याने समुद्रावरील वायु भूमीकडे वाहतो. [आकृति १५-४ (अ) पाहा] सूर्यास्तानंतर, भूमि-भागाचा ताप समुद्रातील पाण्याच्या तापापेक्षा लौकर न्यून झाल्याने, रात्री वायूचा प्रवाह भूमीकडून समुद्राकडे असतो [आकृति १५-४ (आ) पाहा] समुद्राकाठी माने धरणान्या कोळ्यास वायूच्या या उलट सुलट प्रवाहाच समुद्रसंचारात वरच साहाय्य होत

उष्ण कटिबधातील महासागराच तापलेल पाणी सागराच्या पृष्ठावरून समशीतोष्ण भागातील सागराकडे प्रवाहित होणे सागराशी सलग्न असलेल्या प्रदेशाच्या काठाचा विस्तार आणि



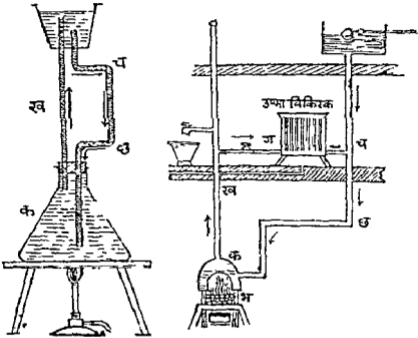
वा १५-४ (अ)



आ. १५-४ (आ)

दिसा (extent and configuration) यामुळे वरील प्रवाहाच्या दिशेत परिवर्तन होत. गल्फस्ट्रीम् (gulf stream) या नावाने ओळखला जाणारा ऊष्ण पाण्याचा प्रवाह मेक्सिको जवळील पश्चिम अटलांटिक महासागरातून निघून पश्चिम आयर्लंड, स्कॉटलंड, नॉर्वे आणि स्वीडन या राष्ट्रांच्या उत्तर काठापर्यंत येतो या ऊष्णप्रवाहामुळे, शीत कटिबंधाजवळील वरील भागातून समुद्रातील वाहणुक प्रायः सर्व ऋतूत चालू असते.

तरलाच्या न्युट्रिनाचा उपयोग करून शीत कटिबंधातील धर आणि त्यातील धामु याचा ताप, मानवी जीवनामुखावह होण्याइतका वाढवतात आकृति १५-५ मध्ये अशी तापवर्धनाची एक योजना दाखविली आहे. क मधील वाष्पनातील पाणी भ भट्टीतून तापून ख नळाद्वारे ऊर्ध्व दिशेत प्रवाहित होते. ख नळाचे ग इयादि निरनिराळे भाग धराच्या भिंतीत उर्ध्व दिशेत बसविलेले असतात ह्या नळातून वाष्पनातील ऊष्ण पाणी प्रवाहित झाल्याने धरातील वायुचा ताप वाढतो. धराच्या वरच्या भागात गेलेले पाणी शीत होऊन खळ मार्गे वाष्पनाकडे प्रवाहित होते अम स्थूलमानाने या योजनेचे वर्णन करता येईल ख, ग मधून ऊष्ण पाणी प्रवाहित



आ १५-५

न करता वाष्पिमातील प्रवाप्य प्रवाहित करून घरातील वायूचा ताप वाढवता येतो

ऊष्ण वटिबधातील घराच्या भितीत छपरगवळील भागात वातायन (ventilator) असल्यास मनुष्यांच्या श्वासोच्छ्वासाने आणि ससर्गने तापलेला वायु खोलीच्या वरच्या भागांत जाऊन पातायनमार्गे बाहेर पडतो आणि बाहेरील शुद्ध वायु दररे, खिडक्या इत्यादीतून खोलीत सरतो.

## संवाहन

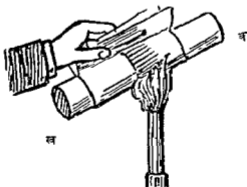
वस्तुतील ऊष्मा संवाहनाचे द्रव्यगति-सिद्धान्तानुसार (kinetic theory of matter) पुढील प्रमाणे स्पष्टीकरण करता येते. द्रव्यगति-सिद्धांताची मध्यवर्ती कल्पना अशी आहे की, वस्तुद्रव्याचे व्यूहाणू हे स्थिर नसून या व्यूहाणूंस गति-ऊर्जा असते. साद्राच्या व्यूहाणूंस आवेपनाची गति असून मध्यक-स्थानाभोवती (mean position) या व्यूहाणूंचे आवेपन (vibration) होऊ शकते. तरलाच्या आणि वातीच्या व्यूहाणूंस आवेपन-गति असून स्थानंतरण गतीहि असते व्यूहाणूंची गति-ऊर्जा ही वस्तूच्या तापस्थितीची निदर्शक असल्याने वस्तूचा ताप वाढल्यास व्यूहाणूंची गति-ऊर्जा वाढलेली असते सान्द्राच्या क भागाचा ताप वाढला म्हणजे त्या भागातील व्यूहाणूंची आवेपन गति-ऊर्जा वाढते नंतर निकटच्या क भागातीलहि व्यूहाणूंची आवेपन गति-ऊर्जा क भागातील व्यूहाणूंच्या सस्पर्शाने वाढते त्यानंतर, क निकटच्या ग भागातील व्यूहाणूंची गति-ऊर्जा क भागातील व्यूहाणूंच्या सस्पर्शाने वाढते. म्हणजे क चा ताप वाढल्यास, त्या भागातील व्यूहाणूंची गति-ऊर्जा क आणि ग येथील व्यूहाणूंस मिळून क आणि ग या भागाचा ताप वाढतो (गति-ऊर्जा आणि ऊष्माराशि या नवधी प्रकरण १४ वे पाहा).

## सुसंवाहक आणि कुसंवाहक

(good conductor and bad conductor)

पातूच्या सळईचे एक टोक विस्तवात असता दुसरे टोक बरेच तापन परतु, एका टोकाला पेटलेले लाकूड अथवा जळती मेणवत्ती दुसऱ्या टोकाने हातान धरता येते. यावरून लक्षात येईल की, पातूच्या सळईतून बरीच ऊष्माराशि संवाहित होते आणि लाकूड, मेण यासारख्या पदार्थांनून संवाहित होणारी ऊष्माराशी अल्प असते

ज्या वस्तूत ऊष्म्याचे सवाहन जास्त प्रमाणात होत त्या वस्तूत 'सुसवाहक' (good conductor) म्हणतात सर्व धातु प्रायः सुसवाहक आहेत. सवाहित होणारी ऊष्माराशि अल्प असल्यास, त्या वस्तूस 'कुसवाहक' (bad conductor) म्हणतात. लाकूड, मेण, कातडें, काच ही कुसवाहकाची उदाहरणे आहेत लाकूड आणि धातु यांच्या सवाहनातील भेदाची पुढील संपरीक्षेवरून प्रचिनी येते. साऱ्याचा क समरूप दण्ड ख या लाकडी दण्डाला जोडलेला आहे आवृत्ति १५-६ पाहा क ख भोवती कागद गुंडाळून आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे क आणि ख यांच्या जोडावरील कागद ज्योतीत धरल्यास, लाकडी भागावरील कागद काळघटून धुमसू लागतो तथापि, धातूच्या भागावरील कागदावर ज्योतीच्या ऊष्म्याचा फारसा परिणाम झालेला दिसत नाही. धातुदण्डातून ऊष्माराशि जास्त प्रमाणात सवाहित होऊन त्यावरील कागदाचा ताप फारसा वाढत नाही, उलट लाकडातून ऊष्माराशि अल्प प्रमाणात सवाहित झाल्याने तेथील कागदाचा ताप वाढून कागद धुमसू लागतो.

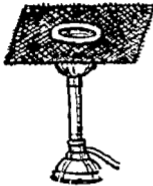


कागदाच्या उष्मते शिमे वितळवित्ता येते; याचे कारण असे आहे की, कागदाला ज्योतीतून मिळालेला उष्मा घातूतून शीघ्र सवाहित होऊन शिमे वितळून, म्हणून ज्वलनस्थिति येण्याइतका कागदाचा ताप वाढत नाही.

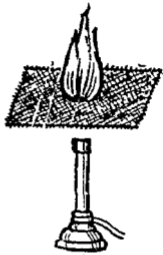
उन्हात असलेला धातुखण्ड उन्हातील लाकडापेशा ऊष्ण भासतो, याचे कारण असे की, धातुखण्डातून आपल्या हातात बराच ऊष्मा सवाहित होतो. त्यामानाने लाकडातून आपल्या हाताला अल्प ऊष्मा मिळाल्याने धातुखण्ड आपणास लाकडापेशा जास्त ऊष्ण भासतो हिवाळ्यात याच वस्तु रात्री बाहेर असल्यास या वस्तूना स्पर्श करताना आपल्या हातातून धातुखण्डात जास्त ऊष्मा सवाहित होऊन धातुखण्ड आपणास लाकडापेशा जास्त थंड भासतो याखिन्न, तापक, स्वयंपाकाची धातुपात्रे इत्यादिकास लाकडी थयवा इतर कोणत्याही कुसवाहि वस्तूची मूठ (हस्तक = handle) बसविली असल्यास ही पात्रे तप्तस्थितीत असताना या मूठीच्या साहाय्याने ती उचलणे, थयवा हलविणे बरच सुकर होत

### डेव्हीचा अभय दीप (Davy's Safety lamp)

दाहकाच्या ज्वालेवर तारेचो-जाळी घरल्यास, ज्योत जाळीच्या खालच्या भागातच असते अकृति १५-७ अ पाहा दाहकाची ज्योत विझवून त्यावर थोड्या अंतरावर जाळी धरून जाळीवरील दाहक वातीत जळती काडी घरल्यास, जाळीवरील दाहक वाति पेट घेतो, परंतु जाळीतून खालच्या भागात ज्योत पसरत नाही [आ १५-७ (आ) पाहा] वरील घटनेचे कारण अस की, ज्योतीशी स्पर्शित असलेल्या जाळीच्या तारातून ऊष्माराशि बऱ्याच जास्त प्रमाणात सवाहित होऊन, जाळीच्या दुसऱ्या भागावरील दाहक-वातीचा ताप ज्वलन-तापाइतका वाढत नाही

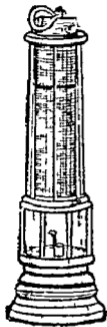


आ. १५-७ (अ)



आ १५-७ (आ)

कोळशाच्या खाणीतील उत्खननात कित्येक प्रसंगी प्रस्फोटक (explosive) वाति बऱ्याच जास्त प्रमाणात उत्पन्न होतात या वातीचा जळत्या ज्योतीशी संपर्क होताच उस्फोट होऊन मनुष्य हानि बरीच होते ही आपत्ती टाळण्याची योजना डेव्हीच्या अभय दीपात (Davy's safety lamp) केलेली आहे आकृति १५-७ (इ) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे दीपाच्या ज्योतीभोवती तांब्याच्या तारेची दाट जाळी असते या जाळीतून आतील जळत्या वातीची ज्योत जाळीच्या बाहेर पसरत नाही स्फोटक वाति जास्त प्रमाणात उत्पन्न झाल्यास निळ्या रंगाची लहान ज्योत दीपाच्या ज्योतीवर टोपीसारखी दिसू लागते ज्योतीच्या बरील प्रकारच्या रंगभेदावरून खाणीत स्फोटक वाति जास्त प्रमाणात उत्पन्न झाल्याची कामकर्त्यांस पूर्व सूचना मिळते.



आ. १५-७ ६

तरल आणि वाति हे प्रायः कुसवाहक आहेत. परीक्षण नळीत हिमाचा तुकडा तिगाच्या तुकड्याला बाधून नळीतील पाण्याच्या तळाशी ठेवावा (आवृत्ति १५-८ पाहा). मुक्त पृष्ठाजवळील पाणी ज्योतीने तापवून तेथील पाण्याचे बुदबुद होऊ लागले तरी नळावरोल सर्व हिमाचे तरलन झालेले दिसत नाही वरच्या तप्त पाण्यातील ऊष्मा खालच्या भागात केवळ सवाहनानेच जाऊ शकतो आणि ही सवाहित ऊष्माराणी अल्प असल्यामुळे नळीतील हिम सवकर वितळत नाही

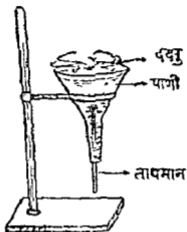


आ १५-८

निवापातील पाण्याच्या पृष्ठावर थोडा दगू टाकून हा दगू पेटविला तरी निवापातील पाण्याचा ताप पारगा वाहत नाही, कारण दगूतून आणि पाणी ही दोन्ही कुसवाहक आहेत (आवृत्ति १५-९ पाहा).

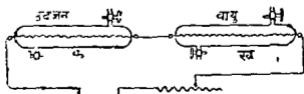
वाति कुसवाहक आहेत त्यातल्या त्यात उद्भजन घालीची सवाहिता इतर घालीच्या मानाने जास्त आहे। इ पुढील सपरीक्षण दिग्गून घेई व आणि व या दोन नटपात अनुक्रमेण वायु आणि





आ. १५-९

उदजन भरलेले आहेत (आकृति १५-१० पाहा). ह्या नळघाळ्या त्वक्षातून महातूळ्या दोन समान तारा बसविल्या आहेत. या तारा परस्परास जोडून त्यातून पुरेसा विद्युद्वाह (electric current) सोडल्यास, ख मधील तार रक्तोष्ण होते परंतु, क मधील उदजन वातीतून ऊष्मा जास्त प्रमाणात सवाहिन झाल्याने क मधील तारेचा ताप रक्तोष्ण स्थितीपर्यंत वाढत नाही



आ १५-१०



आ. १५-११

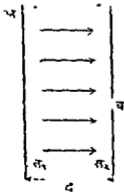
धातूचा जाड पत्रा रक्तोष्ण-स्थितीत असता त्यावर थोडे पाणी शिडकल्यास या पाण्याने पत्रा ओठा न होता पाण्याचे थेंब पत्र्यावर तरंगतातसे वाटते. पत्र्यावर शार्डसारख्या काळना विलयनाचा बिन्दु टाकून आकृति १५-११ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे मेणवतीच्या

ज्योतीकडे पाहिल्यास शार्डचा बिन्दू आणि धातूचा तप्त पत्रा यामधून ज्योत दिसते यावरून शार्डचा बिन्दू आणि तप्त पत्रा याचा एकमेकाशी स्पर्श होत नाही हे स्पष्ट होईल विद्युत परिपथाचो (electrical circuit) योग्य जुळणी करून तरल-बिन्दू आणि तप्त धातुपत्रा सस्पर्शित नाहीत हे दाखविता येत. तप्त पत्र्यावरील तरलबिन्दूच्या या स्थितीस 'गोलाभिय स्थिति' (spheroidal state) म्हणतात. या घटनेचे स्पष्टीकरण अम की, तरल-बिन्दूचा रक्तोष्ण धातुपत्र्याशी स्पर्श होताने काही तरलाचे वाष्पन होऊन या वाष्पाच्या पातळ थरावर तरल-बिन्दू आधारित होतो वाष्प कुमवाहि असल्याने त्यामधून तरलास मिळणारा उष्मा अल्प असतो अर्थातच तरलबिन्दूत उरलेल्या तरलाचे वाष्पस्थितीत रूपांतर लवकर होत नाही. पत्र्याचा ताप न्यून होऊ दिल्यास तरलाचा पत्र्याशी स्पर्श होतो यामुळे तरलाचे थोडे वाष्पन होऊन पत्र्यावरून वाष्पाचा थोट वर येताना दिसतो गोलाभिय स्थितीमधील तरल-बिन्दूचे आवेपन, परिभ्रमण इत्यादींचा अभ्यास मनोरंजक आहे.

वापसाच्या कपड्यापेशा लोकराच्या कपड्यांतील तप्त-मधील अवकाशात वायु जास्त प्रमाणाने असतो आणि लावरीचे कपडे घातल्याने नदीरातील ऊष्मापंक्ती अल्प ऊष्मा या तप्तमधील वायूद्वारे बाहेर

सवाहित झाल्याने आपणास थडी भासत नाही लोखरी कपड्यात, घोंगडीत अथवा लावडी भुशात ठेवलेला हिम बराच वेळपर्यंत विनळत नाही याचे कारण, घोंगडीच्या तंतूजालातील वायु आणि भुशाच्या कणामधील वायु कुसवाहक असल्याने आतील हिमास बाहेरील ऊष्मा फार अल्प प्रमाणात मिळतो. भितीच्या दोन पार्श्वकांडील विटाच्या घरात थोडे अंतर ठेवल्यास, दोन घरातील वायु कुसवाहक असल्याने उन्हाळ्यात बाहेरील भागाकडून आत होणार ऊष्मासवाहन पार अल्प असते तसेच, हिवाळ्यात आतील ऊष्माहि या भितीच्या बाहेरील भागाकडे अल्प प्रमाणातच सवाहित होतो, म्हणून अशा भिती असलेली घरे उन्हाळ्यात आणि हिवाळ्यात त्रासदायक वाटत नाहीत मातीच्या भिती असलेल्या घरात उन्हाळ्याचा त्रास तितकासा होत नाही, कारण या भिती बहुधा घन्याच रूढ असतात आणि मातीच्या कणावणातील पोकळीत वायु बराच असतो विटा, चुना, सिमेंट याच्या पक्क्या बाधणीत वायुचे प्रमाण उपेक्षणीय असल्याने, या बाधणीच्या भिती रूढ नसल्यास

बाहेरील ऊष्मा जास्त प्रमाणांत घराने सवाहित होतो विशेषत बाधकामात लोखंड (सुगवाहक) बराच असल्यास अशा घरात उन्हाळ्याचा बराच त्रास होतो



आ. १५-१२

### ऊष्मा-संचालितेचे (thermal conductivity) निश्चयन

वस्तू-द्रव्यातील ऊष्मा सवाहितेचे निश्चयन करायलाचे योजल्यास, या निश्चयनातील कल्पना जास्त स्पष्ट करणे अवश्य आहे कल्पना करू की, आशुति १५-१२ मध्ये

दगंबिलेली अ व ही भिन्न समाग (homogeneous) भूतद्रव्याची असून त्याच्या अ आणि ब पृष्ठाचे क्षेत्रफळ वरचे विस्तृत आहे. अ या पृष्ठाचा  $t_1$  ताप स्थिर असून ब या पृष्ठाचा  $t_2$  तापही स्थिर आहे  $t_1 > t_2$  असल्यास अ पृष्ठावरून ब पृष्ठाकडे उष्मा सवाहित होईल या पृष्ठाच्या मध्यभागातून सवाहित होणाऱ्या ऊष्माराशी संबंधी संपरीक्षेने पुढील प्रचिती येते

(१) सवाहित होणारी ऊष्माराशि पृष्ठाच्या क्षेत्रफळाशी अनुपाति असते म्हणजे पृष्ठाचे क्षेत्रफळ ज्या प्रमाणात वाढवावे त्याच प्रमाणात सवाहित होणारी ऊष्माराशि वाढते.

(२) सवाहित होणारी ऊष्माराशि कालखण्डाशी अनुपाति असते. एका काष्ठिकत जितकी ऊष्माराशि सवाहित होईल तितकीच ऊष्माराशि दुसऱ्या काष्ठिकेत सवाहित होईल

(३) सवाहित ऊष्माराशि अ आणि ब या पृष्ठाच्या  $(t_1 - t_2)$  या तापभेदाशी अनुपाति असते

(४) सवाहित ऊष्माराशि अ आणि ब पृष्ठातील अंतराशी प्रतुपातानुपाति असते अ आणि ब पृष्ठांमधील अंतर वाढवल्यास या अंतराच्या व्युत्क्रम प्रमाणात सवाहित ऊष्माराशी न्यून होते

वरील प्रचितीच्या आधार याजलेल्या भिन्न भिन्न संपरीक्षा वरून, त्यांपासून एका विशिष्ट भूतद्रव्याच्या सवाहितेच्या अर्हा गणन के-वाम या अर्हाकडे मुमकडता आढळते. ह्यावरून, ऊष्मा सवाहना-संबंधी वरील प्रचिती सत्य असल्याचे प्रचनर येते.

जे क्षेत्रफळ असलेल्या अ आणि ब पृष्ठांमधील अंतर  $d$  असून

क वाष्टिकात सवाहित होणारी ऊष्माराशि रा असल्यास, सवाहित ऊष्माराशि आणि वरील विवेचनातील इतर भौतिकीय राशी याचा संबंध खाली लिहिल्याप्रमाणे दर्शविता येतो

$$रा \propto \frac{क्षे \times (t_1 - t_2) \times क}{द}$$

हा संबंध पुढीलप्रमाणे समीकार स्वरूपात लिहिला आहे

$$रा = वा \times क्षे \times \frac{(t_1 - t_2)}{द} \times क \dots (स. १५-१)$$

या समीकारातील वा राशीव्यतिरिक्त इतर सर्व राशीचे साध्याच्या योग्य जुळणीने मापन करून, वा च्या अर्हेचे रक्षण केल्यास असे दिसून येत की, वा ची अर्दा संपरीक्ष्य वस्तुच्या द्रव्यावर अवलंबून आहे उदाहरणार्थ, भिन्न रीतीत तांब्याचा परीक्ष्य धातू म्हणून उपयोग केल्यास, वा ची अर्दा सारखीच असल्याचे आढळून येते वा राशीस वस्तुद्रव्याची 'ऊष्मा सवाहिता' म्हणतात

समीकार १५-१ मध्ये क्षे = १ (सि मा)<sup>२</sup>,  
( $t_1 - t_2$ ) = १°स, द = १ सि मा आणि क = १ वाष्टिका ह्या अर्दा आदिष्ट केल्यास,

$$रा = वा \times १ \times १ \times १ = वा$$

यावरून, वस्तुद्रव्याच्या पृष्ठांमधील अंतर १ सि मा असून त्या पृष्ठांचा तापभेद १°स असल्यास, १ वर्ग सि मा क्षेत्रफळाच्या पृष्ठांवरून १ वाष्टिकेस सवाहित होणारी ऊष्माराशि वा अगते अशी वस्तुद्रव्याच्या ऊष्मा सवाहितेची परिमाणा दर्शा येईल.

समीकार १५-१ वरून,

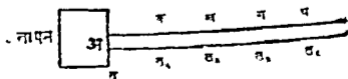
$$\begin{aligned}
 \text{वा} &= \text{रा} \times \frac{d}{(t_1 - t_2)} \times \frac{1}{\text{घ} \times \text{का}} \\
 &= \frac{\text{उष्माराशि} \times \text{आयाम}}{(\text{गतिवाय}) (\text{क्षेत्रफळ}) (\text{वाटिका})} \\
 &= \frac{\text{उष्माराशि}}{(\text{गतिवाय}) (\text{आयाम}) (\text{वाटिका})}
 \end{aligned}$$

यावरून, उष, प्रति सि. मा, प्रति गतिवाय, प्रतिवाटिका अशा एकाच वा राशी दर्शविता येते

घरोळ विवेचनाने अ आणि ब पृष्ठांचे क्षेत्रफळ बरेच जास्त असावे असे म्हटले आहे, कारण या स्मितीत अ आणि ब या पृष्ठांच्या वरच्याच विस्तीर्ण नागावरील उष्मासवाहनाची दिशा या पृष्ठांनाच्या एव दिशेत आहे असे मानता येते.

नस दण्डाची स्थिर ताप अवस्था

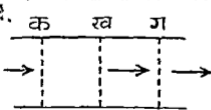
आकृति १५-११ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे एका समरूप दण्डाचे अ टोक घोन्य तापनात ठेवून त्याचा त ताप स्थिर ठेवता येतो या स्थितीत दण्डाच्या क, ख, ग, घ इत्यादी भागांनी मोजून ठेवण्यात



तापमानाच्या वाचनाने तप्त दण्डाच्या भिन्न भागाच्या तापपरिवर्तनाचा अभ्यास करता येतो. अ टोक तापविल्याने प्रथम व भागाचा ताप वाढू लागतो त्यानंतर ख भागाचा ताप वाढून नमाक्रमाने ग, घ इत्यादि दूरच्या भागाचा ताप वाढू लागतो याचवेळी क, ख इत्यादीचा ताप पूर्वीपेक्षा जास्त वाढलेला असतो दण्डाच्या प्रत्येक भागाचा ताप अशा रीतीने हळूहळू वाढत असल्यास दण्डाच्या या स्थितीला 'तापीय चल अवस्था' (variable state) असे म्हणतात

दण्डाचे अ टोक तापनात बराच काळ राहू दिल्यास क भागाचा चाढणारा ताप स्थिर होतो त्यानंतर ख भागाचा ताप निराळ्याच अर्हेवर स्थिर होतो अशा रीतीने इतर भागांचेहि ताप क्रमाक्रमाने स्थिर होतात अ, क, ख, ग आणि घ या भागांचे स्थिर ताप अनुक्रमे  $t, t_1, t_2, t_3$  आणि  $t_4$  ने दर्शविल्यास,  $t > t_1 > t_2 > t_3 > t_4$  असल्याचे आढळून येत तापलेल्या टोकापासून जसजसे दुरच्या टोकाकडे जावे तसतसा त्या भागाचा स्थिर ताप न्यून होत जातो तप्तदण्डाच्या सर्व भागांचे ताप स्थिर झालेले असल्यास दण्डाच्या या स्थितीला 'स्थिर ताप अवस्था' (steady state) असे म्हणतात

तापीय चल अवस्थेचे विवेचन पुढीलप्रमाणे करता येईल आकृति १५-१४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे दण्डाचे क आणि ख अनुप्रस्थ छेद पुरेसे जवळ आहेत असे मानल्यास, क ख मधील भागाचा ताप एकरूप आहे असे मानता येईल क येथील अनुप्रस्थ छेदातून डावीकडे मवाहित झालेली ऊष्माराणि रा, ने दर्शविल्यास, या



आ १५-१४

ऊष्माराशीचा विनियोग पुढीलप्रमाणे होतो. या ऊष्माराशीपैकी, (१) काही भाग  $k$  ख मधील दण्डाच्या विगोपित वक्रपृष्ठावरून मजोवाराच्या वायूस प्रत्यक्ष सस्पन्शन आणि विकिरणाने मिळतो ही ऊष्माराशि  $रा'$  ने दर्शवू, (२) काही ऊष्माराशीचे दण्डाच्या  $k$  ख मधील भागाचे तापवर्धन होणे. तापवर्धनात व्यय झालेली ऊष्माराशि  $रा''$  ने दर्शवू, ( $रा'' = k$  ख मधील दण्डाचा पुन  $\times$  अपेक्षिक ऊष्मा  $\times$  तापवर्धन) (३) आणि शेष ऊष्माराशि  $ख$  येथील अनुप्रस्थ छेदानून ख च्या उजवीकडील न्यून ताप असलेल्या भागाकडे सवाहित होणे  $ख$  मधून सवाहित होणारी ही शेष ऊष्माराशि  $रा_२$  ने दर्शवू वरील चारही ऊष्माराशीचा सबंध पुढील समीकाराने दर्शविता येतो

$$रा_१ = रा_२ + रा' + रा''$$

$$= रा_२ + रा' + (पुन \times अपेक्षिक ऊष्मा \times तापवर्धन)$$

$$रा_१ = रा_२ + रा' + (k \text{ ख मधील दण्डाची तापीय धारिता} \times तापवर्धन)$$

वरील मजोवारावरून लक्षात येईल की, सुमवाहतातून सवाहित होणारी ऊष्माराशि  $रा_१$  ही जास्त असूनही तापवर्धन  $k$ ,  $ख$  मधील भागाच्या तापीय धारितेवर अवलंबून असल्याने या भागाची तापीय धारिता जास्त असल्यास तापवर्धन शीघ्र होणार नाही.

शून्य भिन्न द्रव्याचे समरूप दण्ड एकाच तापनात वरप्रमाणे तापवनात, एका दण्डाच्या  $k$ ,  $ख$ ,  $ग$  इत्यादि भागाचा ताप दुसऱ्या दण्डाच्या  $क$ ,  $ख$ ,  $ग$  इत्यादि (corresponding)  $क$ ,  $ख$ ,  $ग$  इत्यादि भागाच्या तापवेत्ता लवकर वाढल्यास, पहिल्या दण्डाची सवाहितता दुसऱ्या दण्डाच्या सवाहिततेपेक्षा जास्त आहे असे म्हणता येणार नाही. याचे कारण असे आहे की, तापवर्धनाची तीव्रता केवळ  $ग$ ,  $घ$



अवलंबून नसून ती दण्डद्रव्याची घनता आणि त्याचा आपेक्षिक ऊष्मा या दोहोच्या गुणनफळावर अवलंबून असते.

दण्डाच्या निरनिराळ्या भागाचा ताप स्थिर झाल्यानंतर (म्हणजे तापीय स्थिर अवस्था प्राप्त झाल्यानंतर) तापवर्धनाला लागणारी रा' ऊष्माराशी शून्य असते. अशा स्थितीसबधीचा समीकार पुढीलप्रमाणे लिहिता येईल.

$$रा_1 = रा_2 + रा'$$

दण्डाचा विगोपित वक्रपृष्ठभाग लोकर इत्यादि कुसवाहि वस्तुद्रव्यानी योग्य रीतीने झाकल्यास, विगोपित भागातून होणारी रा' ऊष्माहानि उपेक्षणीय असते. दण्डाच्या अशा स्थिर ताप अवस्थेत वरील समीकार पुढीलप्रमाणे लिहिता येतो.

$$रा_1 = रा_2$$

अशा स्थितीत ख ग या भागात ख ह्या अनुप्रस्थ छेदातून ग कडे सवाहित होणारा ऊष्मा  $रा_2$  असून ग ह्या अनुप्रस्थ छेदातून घ कडे सवाहित होणारा ऊष्मा  $रा_3$  असल्यास, वरील विवेचनानुसार,

$$रा_1 = रा_2 = रा_3 = \dots . रा$$

असा सवाहित ऊष्माराशीचा संबंध दर्शविता येईल यावरून, लक्षात येईल की, स्थिर ताप अवस्थेत कुसवाहकानें परिवेष्टित असलेल्या सप्त दण्डाच्या भिन्न अनुप्रस्थ छेदातून समान ऊष्मा सवाहित होतो क, ख, ग आणि घ येथील स्थिर ताप अनुक्रमे  $t_1, t_2, t_3$  आणि  $t_4$  ने दर्शविल्यास दण्डाच्या अनुप्रस्थ छेदातून सवाहित ऊष्माराशि समीकार १५-१ च्या साहाय्याने पुढीलप्रमाणें दर्शविता येते.

$$R = \text{वा. क्षे.} \frac{t_1 - t_2}{d_1} \times k = \text{वा. क्षे.} \frac{t_2 - t_3}{d_2} \times k = \text{वा. क्षे.} \frac{t_3 - t_4}{d_3} \times k$$

$$\therefore \frac{t_1 - t_2}{d_1} = \frac{t_2 - t_3}{d_2} = \frac{t_3 - t_4}{d_3}$$

पृष्ठाचा तापभेद आणि पृष्ठातील अन्त या निष्पत्तीला 'ताप प्रवणक' (temperature gradient) म्हणतात. वरील समीकारा-वमून दमने दिमने की, स्थिर ताप अवस्थेतील परिवेष्टित दण्डाच्या कोणत्याही भागातील ताप-प्रवणकाचा अर्हा समान अमने. म्हणून,

$$R = \text{वा} \times \text{क्षे} \times (\text{ताप प्रवणक}) \times k$$

अथवा,

$$\text{वा} = \frac{R}{\text{क्षे} \times (\text{ताप प्रवणक}) \times k}$$

वरील समीकारातील ताप-प्रवणकाची अर्हा, अनुप्रस्थ क्षेत्रफळ आणि  $k$  यांच्या अर्हा माहीत असल्यास  $R$  ची अर्हा योग्य रीतीने मावून परिवेष्टित दण्डाच्या द्रव्याची सवाहिन (वा) गणन करतां येते

### सल्लेखे संवाहिता निश्चयन साधित्र

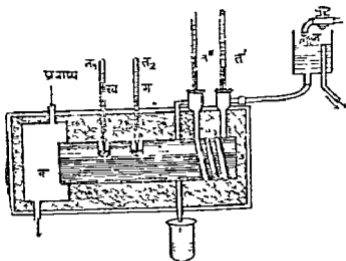
सल्लेखे पृष्ठील साधित्रान सवाहितेचे निश्चयन दण्डाच्या स्थिर ताप अवस्थेच्या घटनेवरच अवलंबून आहे. भारतीय द्रव्याचा  $k$  म ग घ हा बराच जाड समस्य दण्ड अमून त्याने  $k$  टोच प्रवाण वेदमांत समविण आहे (आकृति १५-१५ पाहा)  $k$  म ग घ हा दण्ड लाकरीसाग्या कुमवाहि पदार्थाने परिवेष्टित अगती वेदमांतून प्रवाण सवाहित करून  $k$  टोकाचा ताप स्थिर ठेवतात. दण्डावरून

ख आणि ग येथील निरद खाचेत तापमाने ठेवतात तापमानाचे वन्द जेमतेम बुडतील इतका पारः या खाचेत असतो या तापमानाद्वारे ख आणि ग येथील स्थिर तापाची वाचने घेतात हे स्थिर ताप अनुक्रमे त<sub>१</sub> आणि त<sub>२</sub> असून ख आणि ग मधील अंतर द असल्यास,  $\frac{t_1 - t_2}{d}$  ही दण्डाच्या स्थिर ताप अवस्थेतील ताप प्रवणकाची अर्हा होय अनुश्रेणी व्यासमीच्या साहाय्याने दण्डाच्या अनुप्रस्य छेदाचा व्यास मापून क्षेत्र = प्या त्र<sup>२</sup> या सूत्राच्या साहाय्याने क्षेत्रे गणन करता येते रा ची अर्हा मापण्यास घ भोवती गुंडाळलेल्या ताव्याच्या पातळ कुतलाकार नळीतून नियंत्रित केलेला पाण्याचा प्रवाह सोडतात स्थिर ताप अवस्थेत या नळीत येणाऱ्या पाण्याचा त' ताप आणि नळीतून बाहेर जाणाऱ्या पाण्याचा त' ताप स्थिर होतात पाण्याचा प्रवाह नियमित असणे अवश्य असल्याने ताव्याची नळी अचल पृष्ठतल असणाऱ्या जलाशयाला आकृति १५-१५ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे जोडलेली असते या नळीतून व काष्ठिकात बाहेर येणार पाणी चचुकीत अथवा दुसऱ्या एखाद्या योग्य पात्रात साठवून या पाण्याच्या पु पुजाचे निश्चयन करतात

यावरून, क काष्ठिकात, न त्रिज्या असलेल्या दण्डाच्या अनुप्रस्य छेदातून सवाहित होणारा ऊष्मा रा असल्यास,

$$R = P \times (t' - t) = \text{वा प्या त्र}^2 \times \frac{t_1 - t_2}{d} \times k$$

$$P(t' - t) = \text{वा} \times \text{प्या त्र}^2 \times \frac{t_1 - t_2}{d} \times k$$



आ. १५-१५

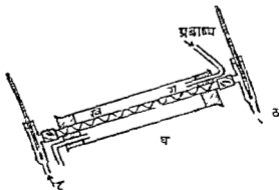
वरील समीकारातील सर्व राशींचे सपरीक्षेने मापन करून, वा  
पी अर्हां गणन करता येने

### कुसंवाहकाच्या संवाहिता निश्चयनाचें साधित्र

काच, द्रुपि इत्यादि कुसवाहकाची संवाहिता सरंज्या वरील  
रीतीने निश्चित करता येत नाही याचे कारण असे की,  
कुसवाहकातून संवाहित होणारी उष्माराशि अल्प अतः परिवेष्टित  
वत्र पृष्ठावर्तन विकिरण इत्यादींच्या द्वारे होणारी  $R_1$  उष्माराशि  
कुसवाहकातून संवाहित होणाऱ्या  $R_2$  या अल्प उष्माराशीच्या मानाने  
उपेक्षणीय मानता येत नाही म्हणून आ. १५-१३ (पृ. ३८२) मधील प  
टाकापर्यंत पोहोचणारी उष्माराशि मापून कुसवाहकाच्या संवाहितेचे

वेलेले गणन तितकेसे परिशुद्ध नसत काचेची सवाहिता पुढील मपरीक्षे-  
वरून निश्चित करता येते

आकृति १५-१६ (अ) मध्ये दर्शविलेल्या ख ग या मरूप वाचनळीत ट मार्गे पाण्याचा नियमित प्रवाह येऊन तो ठ मार्गे बाहेर पडतो नळीत असलेल्या घातूच्या कुडाकार तारेमुळे नळीतील पाण्याचे विचालन होऊन नळीच्या कोणत्याहि अनुप्रस्थ छेदातील पाण्याचा ताप समान असतो ख ग नळीभोवती असलेल्या घ रूंद नळीनून वाष्पत्रातील प्रवाप्य प्रवाहित करतात या प्रवाप्याने ख ग नळीच्या बाहेरील सर्व भागाचा ताप प्रवाप्याच्या त तापाइतका स्थिर होतो ट मार्गे नळीत सिग्याच्या पाण्याचा त<sub>१</sub> ताप तसच ठ मार्गे बाहेर येण्याच्या पाण्याचा त<sub>२</sub> ताप स्थिर झाल्यानंतर, क वाळिकेत ठ मार्गे बाहेर पडणा-या पाण्याचा (पु) पुज तुलेने निश्चित करतात समीकार १५-१ मधील इतर राशीच्या अर्हा आदिष्ट करून काचेच्या सवाहितेचे गणन करता येते नळीच्या आतील भागाची आणि बाहेरील भागाची त्रिज्या अनुक्रमे त्र<sub>१</sub> आणि



आ १५-१६ (अ)



$r_2$  अमून (आ. १५-१६ वा पाहा) ल  
 $r_2$  ही खग नळीची घ समावरणातील लावी  
 असल्यास नळीच्या ज्या पृष्ठानून ऊष्मा  
 सवाहित होतो त्या पृष्ठाचे माध्य क्षेत्रफळ,

$$\text{आ. १५-१६ (आ)} \quad \text{क्षे} = 2 \times \text{प्या} \times \frac{r_1 + r_2}{2} \times \text{ल.}$$

ट आणि ठ येथील पाण्याचा स्थिर ताप अनुक्रमे  $t_1$  आणि  $t_2$   
 असल्यास, नळीच्या आतील वक्र पृष्ठाचा माध्य ताप  $\frac{t_1 + t_2}{2}$   
 मानता येईल. ख ग नळीच्या बाहेरील वक्रपृष्ठाचा ताप  $t$  असल्यास,

$$\frac{t - \left( \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}{(r_2 - r_1)}$$

ही तापप्रवणताची अर्हा असते.

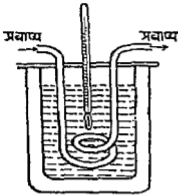
समीकार १५-१ च्या अनुसार,

$$Q = \text{पु.} (t_2 - t_1)$$

$$= \frac{\text{वा} \left( 2 \text{प्या} \times \frac{r_1 + r_2}{2} \times \text{ल} \right) \left( t - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) K}{(r_2 - r_1)}$$

या समीकाराच्या माहात्म्याने या चे गणन करता येते.

पृष्ठोत्त योजनेने पृथोच्छा सवाहितेचे गणन करता येते. ल  
 लावीची घृदि-नळी उपमानातील पाण्यात बुडवून या नळीतून



आ. १५-१७

प्रवाप्य प्रवाहित करतात. (आकृति १५-१७ पाहा). क वाष्किकान् उपमानातील पाण्याचा ताप  $t_1$  पासून  $t_2$  इतका वाढल्यास उपमानास आणि त्यातील पाण्यास सवाहनद्वारा  $[ज \times (t_2 - t_1)]$  इतका ऊष्मा क वाष्किकान् मिळतो उपमान आणि त्यातील पाणी याचा जलसमाहूँ ज ने दर्शविल्याग,

$$रा = ज (त_२ - त_१)$$

$$= \frac{\text{वा.} \left( २ \text{चा} \times \frac{व_१ + व_२}{२} \times ल \right) (त_२ - त_१ + त_१)}{व_२ - व_१} क$$

वरील रीतीत पुरेशी परिशुद्धता साधणें शक्य नसते.

कुसवाहकाच्या ऊष्मासवाहितेचे निश्चयन विम्ब रीतीने पुढील प्रमाणें करतात.

ख<sub>१</sub> आणि ख<sub>२</sub> ह्या परीक्ष्य साद्राच्या वतुंळाकार तबकड्या अमून आकृति १५-१८ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे क<sub>१</sub>, ग<sub>१</sub>, क<sub>२</sub> आणि ग<sub>२</sub> या पातळ वतुंळाकार तांब्याच्या तबकड्या अनुक्रमें ख<sub>१</sub> आणि ख<sub>२</sub> यास सस्पणित ठेवलेल्या असतात. क<sub>१</sub> आणि क<sub>२</sub> यांच्या मध्ये अ हा कुंतलाकार विद्युत्संवाहक असतो. क<sub>१</sub>, क<sub>२</sub>, ग<sub>१</sub> आणि ग<sub>२</sub> या तांब्याच्या तबकड्या पातळ असल्याने प्रत्येक तबकडीचा समताप

$$\therefore \frac{v_2 r}{ya} = x_1 \text{ आणि } x_2 \text{ मधून प्रतिकार्षित्वेत्}$$

[ सवाहित ऊष्माराशी.

$$= 2 \left\{ \frac{वा (प्या त्र^२) (त_१ - त_२)}{द_१} \right\}$$

वरील समीकारात  $t_1$  ही  $x_1$  परीक्ष्य तबकडीच्या पृष्ठ-  
तलाची निज्या असून  $d_1$  ही त्या तबकडीची जाडी आहे

### प्रश्न

(१) धातूच्या सवाहितेचे निश्चयन करण्याच्या रीतीचे वर्णन करा.

स्थिर ताप दण्डाच्या रीतीत दण्डाच्या अनुप्रस्थ छेदाचा व्यास मोठा असणे कां आवश्यक आहे याचे स्पष्टीकरण द्या

(२) न्युट्रहनाचा उपयोग करून शीत कटिबधाजवळील प्रदेशात घरे इत्यादीतील ताप मानवी जीवनास सुखावह ठेवण्याची योजनी योजना असने ते सविस्तर लिहा

(३) लोखंडी बाष्पित्राच्या पष्ठाचे क्षेत्रफळ २५ वर्गमान आणि त्याच्या पत्र्याची जाडी १२५ मि मा असून भट्टीचा ताप १२०° स असल्यास, प्रत्येक काष्ठित्वेत् वाष्पन होणाऱ्या पाण्याच्या पुजाचे गणन करा

(प्रवाण्याचा गुप्त ऊष्मा ५३६ उप असून लोखंडाची सवाहिता

• २ आहे)



(४) तांब्याच्या पत्र्याची जाडी १ सि मा. अमून हा पत्रा ०.९ सि मा इतकी जाडी असलेल्या लोखंडी पत्र्याशी जोडलेला आहे. जोडपत्र्याच्या बाहेरील पृष्ठाचा स्थिर ताप अनुक्रमे  $१००^{\circ}$  स आणि  $०^{\circ}$ स असल्यास, पत्र्याचे पृष्ठतल ज्या ठिकाणी एकमेकास जोडले आहेत त्या भागाचा स्थिर ताप काय असावा ?

(तांबें आणि लोखंड यांच्या सवाहिनच्या अर्धे अनुक्रमे १.०४ आणि १.१५ आहेत)

(५) मरोवराच्या पृष्ठावर हिमाचा २ सि मा. जाडीचा थर अमून वायूचा ताप -  $१०^{\circ}$ स, असल्यास, हिमथराची जाडी १ सहस्रमान वाढव्यास किती काळ लागेल ?

(हिमाची सवाहिता ०.००५ अमून हिमाचा गुप्त उष्मा ८० उय आहे)

## ऊष्मा विकिरण

सूर्यापासून आपणास प्रकाश आणि ऊष्मा मिळतो. सूर्यापासून ऊष्म्याच्या या सत्रामणाचा विचार करताना पुढील घटना लक्षात ठेवणे आवश्यक आहे. सूर्य आणि पृथ्वी यामधील माध्य अंतर ९,२८,७०,००० नोशक (miles) आहे. तसेच, पृथ्वीच्या वातावरणातील दोन अडीचर्से नोशकापलीकडील वायूची घनता अल्प म्हणून उपेक्षणीय आहे म्हणजे, सूर्य आणि पृथ्वी यामधील अवकाशाचा घराच मोठा भाग भूतद्रव्यहीन आहे या भूतद्रव्यहीन अवकाशातून सूर्याचा ऊष्मा आपणास मिळतो. ऊष्म्याचे सवाहन किंवा न्युट्रहन हे भूतद्रव्याच्या एका भागातून दुसऱ्या भागात होते. भूतद्रव्यहीन अवकाशातून होणारे सूर्याच्या ऊष्म्याचे सत्रामण अर्थात् निराळ्या-प्रकारे होत. ऊष्मा-सत्रामणाच्या या प्रकारास 'विकिरण' (radiation) ही सत्रा आहे.

पेटलेल्या भट्टीसमोर आणून उभे राहताक्षणीच भट्टीपासून आपणास ऊष्मा मिळतो. भट्टीच्या समोवारचा घायु कुसवाहक असल्याने वायूतून सवाहनद्वारा येणारा ऊष्मा अल्प राहिल अर्थात् भट्टीपासून जास्त प्रमाणात मिळणारा हा ऊष्मा सवाहन रीतीने सत्रामित होत नाही हे निश्चित तसेच, आपण भट्टीच्या एका अगास असल्याने न्युट्रहनाच्या क्रियेने आपणास ऊष्मा मिळणे शक्य नसते यावरून, विकिरणाच्या क्रियेने भट्टीपासून आपल्याला ऊष्मा मिळतो. सद्यास सूर्यग्रहणात सूर्यबिंब बाहेर पडताच प्रकाश आणि ऊष्मा हे दोन्हीही एकाचवेळी आपणास मिळतात यावरून, प्रकाश आणि विकिरणद्वारा सत्रामित होणारा ऊष्मा या दोहाचा अंतर क्रमण्याचा प्रवेग सारखाच असतो हे लक्षात येईल.

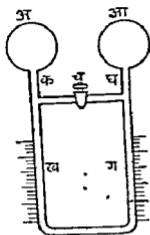
जलाशयानील पाण्यात जह पदार्थ टाकल्यान, पाण्याच्या पृष्ठावर तरंग उत्पन्न होतात आणि हे तरंग पाण्याच्या पृष्ठावर पसरतात. पाण्याच्या पृष्ठावरील तरंगान जलद्रव्याच्या स्थान भागाचे स्थिर स्थानापामून आवेपन होतें आवेपिन भागाची गति दुसऱ्या निक्कटवर्ती भागास मिळून पहिल्या भागातील गति-ऊर्जा या निक्कटवर्ती भागातील पाण्यास मिळते. अशाप्रकारे, तरंगाद्वारे ऊर्जेचे प्रक्रमण होतें. ज्या वस्तुद्रव्यात तरंग उत्पन्न होतात त्या वस्तुद्रव्यात तरंगाचे 'माध्यम' (medium) हो मज्जा आहे दीन वस्तुपामून प्रकाश आणि ऊर्जा तरंगाद्वारे 'समोवाराच्या अवकाशात पसरतात म्हणजे प्रकाश आणि ऊर्जा यांचे गमन (propagation) तरंगगतीने होतें असे मानल्यास भूतद्रव्यहीन अवकाशातून ऊर्जा-जेचे प्रक्रमण होण्यास या अवकाशातील कांयदा माध्यमाचे (medium) आवेपन होत असोचे याची कल्पना करणे बडीच आहे. कांयद्याहि माध्यमाच्या साहाय्याशिवाय प्रकाश-ऊर्जा आणि ऊर्जा-ऊर्जा एका स्थानापामून दुसऱ्या स्थानापसंत जाऊ शकतात ही कल्पना १८ व्या शतकातील शास्त्रज्ञास मान्य नव्हती. या काळातील शास्त्रज्ञांची कल्पना (hypothesis) अशी होती की, 'व्योम' (ether) या माध्यमाने अखिल विश्व व्यापलेले आहे, आणि विश्वातील सर्व भूतद्रव्यात आणि भूतद्रव्यहीन अवकाशात व्योम पसरलेला असून या व्योमाच्या तरंगगतीत प्रकाश-ऊर्जा आणि ऊर्जा-ऊर्जा विश्वाच्या एका भागातून दुसऱ्या भागात जाऊ शकतात व्योमाचे आवेपन होऊ शकत या व्यतिरिक्त व्योमाच्या अन्य कांयद्याहि गुणधर्माविषयी निश्चितरूपे वाहीच सांगता येत नसे म्हणून १९ व्या शतकाच्या शेवटी विश्वव्यापी व्योम कल्पना बरीच अममाधानकारक धरल्याचे शास्त्रज्ञास पटू लागले होते आईन्स्टाईनच्या (Einstein) सापेक्षता सिद्धान्तात (theory of relativity) अवकाशातील प्रकाश-प्रवेगाची अर्हा ही ईशकाच्या (observer)

गति-निरपेक्ष असलेली स्थिर राशि मानली असल्याने विद्वध्यापी व्योम कल्पना अनावश्यक ठरली आहे. तथापि व्योम-तरंग सिद्धा-  
तांतील काही परिभाषा शास्त्रीय विवरणात सोयीच्या असल्याने  
ह्या परिभाषा आजही शब्द आहेत उदाहरणार्थ, प्रकाश तरंगाची  
लांबी  $5 \times 10^{-6}$  शि मा आहे, प्रकाशतरंगाची प्रतिबिम्बितेतील  
आवर्तनसंख्या  $5 \times 10^{14}$  इतकी आहे, इत्यादि वाक्यप्रयोग  
आजही प्रचारात आहेत. ही परिभाषा योजून, सूर्यप्रकाशातील  
सप्तरंगी प्रकाशापंकी, तावड्या (स्वतंत्र) प्रकाश तरंगाची लांबी  
स्थूलमानाने  $75 \times 10^{-7}$  शि मा असून जाभळ्या रंगाच्या  
(जबुधर्ण) प्रकाशतरंगाची लांबी स्थूलमानाने  $4 \times 10^{-6}$  शि मा  
आहे असे म्हणता येईल  $75 \times 10^{-7}$  शि मा पेक्षा जास्त तरंगा-  
याम (wave length) असलेल्या तरंगानी आपल्या डोळ्यास  
प्रकाश-संवेदना न होता या तरंगांनी आपल्या शरीरास ऊष्मा-  
संवेदना होते. तरंगाची लांबी  $4 \times 10^{-6}$  शि मा पेक्षा न्यून  
असल्यास या तरंगामुळेही आपल्या डोळ्यास प्रकाश-संवेदना  
होत नाही, तथापि या तरंगातील ऊर्जेमुळे काही रसायनिक क्रिया  
घडून येतात ऊष्मा प्रकाश यांच्या तरंगाची लांबी आणि रसायनिक  
क्रिया यांचा परस्पर संबंध या विषयी जास्त विवेचन प्रकाश  
विभागात पुढे येईल ऊष्माविकिरणाच्या अभ्यासात घोजलेल्या काही  
साधनाची (apparatus) माहिती देऊन, विकिरित ऊष्माचे  
वस्तुद्रव्यात होणारे प्रचूपण (absorption), वस्तुद्रव्यातील  
ऊष्माचे उदगिरण (emission) आणि उदगिरणामुळे वस्तुद्रव्याचे  
होणारे शीतन इत्यादि घटनांच्या अभ्यासाचे विवेचन या प्रकरणात  
नेले आहे

### तापभेदमान

(Leslie's differential thermometer)

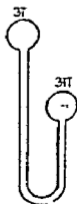
ऊष्मा विकिरणाच्या अभ्यासांत साधारणपणे ऊष्माराशि



आ १६-१

अल्प असते या अल्प ऊष्म्याच्या प्रचू-  
पणाने होणारे अल्प तापवर्धन परि-  
शुद्धतेने दशविंशत तापमान वरच हूप  
(sensitive) असावे लागते अ  
आणि आ हे काचेचे दोन गोलाकार  
कन्द अमून आकृति १६-१ मध्ये दश-  
वित्याप्रमाणे हे कन्द कस्तूरप या काच-  
नळीने जोडलेले असतात दोन्ही कन्दा-  
तील वायू समतापावर असल्यात ख  
आणि ग भागातील तरलस्तम्भाची  
(रंगीत पाण्याची) उंची समान  
असते सपरिधेत एक कन्द पूर्णपणे  
आवृत (screen) करतात दुसऱ्या

कन्दाचा पृष्ठ काजळाने पूर्णपणे कृष्णवर्ण करून तो कन्द  
विकिरित ऊष्म्याच्या भागात ठेवतात या स्थितीत  
च पिघा बद असते. कन्दाच्या कृष्णवर्ण पृष्ठावर  
पडणाऱ्या विकिरित ऊष्म्याच प्रचूपण हाऊन त्या  
कन्दातील वायूचा ताप वाढतो तापवर्धनाने वायूचे  
निपीडिंह वाढून यामुळे ख आणि ग या भागातील  
तरलस्तम्भाची उंची असमान होते च त्रिखिपिघा  
उपट्टन अषय नव्हा अ आणि आ यातील वायूच  
निपीड समान करून घेत या उपकरणाम 'लेस्लीचे  
तापनेदमान' म्हणतात या प्रकाराच्या तापमद  
मानाचा एक पर्याय आकृति १६-२ मध्ये दागविण  
आह अ आणि आ हे काचेचे समरूप कन्द ऊष्मवाहू  
याचनळीने जोडलेले आहेत नटीत गुणव  
(alcohol) अथवा दगू (ether) यासारखे



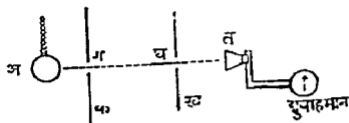
आ १६-२

कोष्ठतापावर पुरेसे वाष्प-निपीड असणारे तरल असून, तरलस्तम्भावरील भागात याच तरलाचे वाष्प असते. एका चवूच्या पृष्ठास काजळ लावलेले असून विकिरित ऊष्म्याच्या प्रचूपणाने या चवूतील वाष्पाचा ताप वाढून वाष्पाचे निपीडहि वाढते. या निपीडवर्धनाने ऊर्ध्ववाहूतील तरलस्तम्भाची उंची असमान होते. या साधनाला 'दक्ष तापेक्ष' (ether thermoscope) म्हणतात

ऊष्माविकिरणाच्या प्रारंभीच्या अभ्यासात वरील तापभेद-मानाचा उपयोग करीत आधुनिक काळात तापचिर्ता (thermopile) आणि रोधविकिरणमान (bolometer) याचा उपयोग करतात. तापचिर्तीला चुवाहमान (galvanometer) जोडलेले असून या चुवाहमानातील देष्ट्याच्या व्याकोचनाने विकिरित ऊष्मा-राशीचे मापन करतात परील दोन्ही उपकरणांचे जास्त विवेचन विद्युत्-विभागात केले आहे

विकिरित ऊष्म्याचा आणि प्रकाशाचा अवकाशातून (empty space) गमनाचा प्रवेग समान आहे हे मागे सांगितलेच आहे प्रकाशाप्रमाणेच ऊष्माविकिरणाचा समाग (homogeneous) माध्यमातील मार्ग ऋजुरेखीय (rectilinear) असतो ऊष्माविकिरणाचे परावर्तनहि प्रकाशाच्या परावर्तनासारखेच होते वरील घटना पृढील सपरीक्षेवहन स्पष्ट करता येतात.

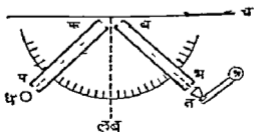
क आणि ख या दोन लाकडी पडद्यात अनुक्रमे ग आणि घ ही दोन छिद्रे असून क पडद्याच्या छिद्रासमोर अ हा दीप्नोष्ण (white hot) धातुगोल ठेवतात आकृति १६-३ पाहा ख पडद्यापलीकडे चुवाहमानाला जोडलेली त ही तापचिर्ता ठेवतात. अ, ग, घ आणि त एकाच सरळ रेषेत असताना चुवाहमानाच्या देष्ट्याचे व्याकोचन बरच जास्त असलेल आढळून येत. या स्थितीतून अ, क, ख अथवा त यापैकी एकहि वस्तु वरील सरळरेषेच्या एका बडेस



आ. १६-३

हालविन्यास, दुवाहमानातील व्याकोचन उपेक्षणीय असते. या मपरीक्षेवरून असे दिसून येईल की दोन्ही धातुगोलापासून विकिरित होणाऱ्या उष्म्याचे गमन ऋजुरेषेत होई

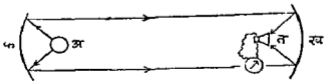
आकृति १६-४ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे फफ, आणि बम हे दोन पोकळ रम संतिज पातळीत ठेवलेले असून घ हा दीप्तोष्ण धातुगोल फफ रमाच्या प ताडाजवळ ठेवतात. बम रमाच्या म ताडाजवळ त ही तापचिती ठेवलेली असते फ आणि ब टोकाकडील च हा धातूचा चकचकीत पत्रा उदय पानळीत अशा रितीने ठेवतात की, फफ आणि बम मधील कोन पत्र्याच्या लवाने दुभागला (bisect)



आ १६-४

जाईल. या स्थितीत तापचितीच्या चुवाहमानाचे व्याकोचन जास्त असल्याचे आढळून येते. पत्रा काढून घेतल्यास तापचितीस धातुगोलाचा ऊष्मा मिळत नाही पत्रा स्थिर ठेवून घ आणि पफ रम्भ याचे पत्राच्या लबाशी भिन्न कोन योजल्यास पत्र्याच्या लम्बाशी पफ आणि वम याचे कोन समान असल्यास चुवाहमानाचे व्याकोचन सर्वात जास्त असत.

विकिरित ऊष्म्याच्या परावर्तनाचे दिग्दर्शन पुढील सपरीक्षेने करता येते क आणि ख हे दोन धातूचे चकचकीत न्युब्ज (concave) परावर्तक (reflector) असून अ त या सरळ रेषेत या दोन न्युब्ज तलाचे अक्ष आहेत अ ह्या नाभि-बिन्दूजवळ ( focal point ) दीप्तोष्ण धातुगोल ठेवतात आणि दुसऱ्या न्युब्जतलाच्या त या नाभि-बिन्दूजवळ योग्य स्थितीत तापचिती ठेवल्यास चुवाहमानाचे व्याकोचनबरेच असत तापचिती अथवा धातुगोल एका अगास किंवा मागे पुढे हलविल्यास व्याकोचन बरेच अल्प होते उदुब्ज वीक्षाच्या (convex lens) साहाय्याने सूर्याच्या प्रकाश रश्मीचे (rays) भुजायन (refraction) होऊन प्रकाशरश्मि वीक्षाच्या नाभि बिन्दूवर एकत्रित होतात. या स्थितीत नाभि-बिन्दूजवळ कागद अथवा कापूस धरल्यास या वस्तू पेट घेतात यावरून प्रकाशरश्मीप्रमाणे विकिरित ऊष्म्याचेहि भुजायन होते असे दिसून येईल





## उद्गिरण शक्ति अथवा विकिरण शक्ति (emissive power or radiating power)

सपरीक्ष्य पृष्ठाच्या १ वर्ग मि मा क्षेत्रफळावरून प्रति-  
काष्ठिकत विकिरित झालेली ऊष्माराशि  $U_1$  असून समान  
तापस्थितीत आणि समान परिस्थितीत पूर्ण कृष्ण (perfectly  
black) असलेल्या १ वर्ग मि मा क्षेत्रफळावरून प्रतिकाष्ठिकत  
विकिरित होणारी ऊष्माराशि  $U_2$  असल्यास,  $\frac{U_1}{U_2}$  या निष्पत्तीस  
सपरीक्ष्य पृष्ठाची 'उद्गिरण शक्ति अथवा 'विकिरण शक्ति'  
म्हणतात या निष्पत्तीचे मापन पुढीलप्रमाणे करता येत

क ख ग घ हा धातुचा चौकोनी टप्पा असून क, ख, ग आणि  
घ या उदग्र पृष्ठास निरनिराळे रंग दिलेले असतात आकृति १६-६  
पाहा क उदग्र पृष्ठ काजळान पूर्ण काळा केला असून ख हा न्यव  
(dull black) कृष्ण रंगाचा अथवा घमर असतो ग पृष्ठाला  
पाडरा रंग असून घ पृष्ठ चकचकीत असतो या धातुपात्रासमोर  
सुवाह्मानाला बोटलेली त तापचिती असते धातुपात्र आणि तापचिती  
यामध्ये प फ हा मधोमध छिद्र असलेला धातुचा पन्दा ठेवला असतो  
या पडद्याला दुहेरी भिती असून भितीचा बाहेरील पृष्ठभाग काजळाने  
काळा केलेला असतो या योगाने धातुपात्राकडून पडद्यावर यणारी



विकिरित ऊर्माराशि पडद्यात शोपली जाते. तसेच तापचितीकडून येणारा विकिरित ऊर्माहि पडद्यात शापला जातो पडद्याच्या आतील भाग चकचकीत असल्याने या भागाकडून तापचितीकडे विकिरित होणारी ऊर्माराशि उपेक्षणीय असते.

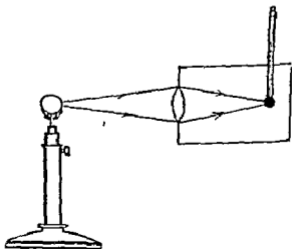
धातुपात्रात उकळते पाणी टाकून क भाग तापचितीसमोर आणतात आणि नंतर तापचितीला जोडलेल्या चुवाहमानाच्या व्याकोचनाचे वाचन टिपून घेतात. याचप्रमाणे धातुपात्राचे ख, ग आणि घ पृष्ठ क्रमाने तापचितीसमोर आणून चुवाहमानाच्या व्याकोचनाची नोंद करतात. चुवाहमानाचे व्याकोचन हे तापचिती समोरील पृष्ठावरून येणाऱ्या ऊर्माराशीची अनुपाति असल्याने वर सांगितलेल्या परिभाषेप्रमाणे विशिष्ट पृष्ठाच्या विकिरण शक्तीची अर्हा गणन करता येते.

काजळ लावलेला पृष्ठ तापचितीसमोर असता चुवाहमानाचे व्याकोचन सर्वांत जास्त असते यावरून काजळा पृष्ठावरून विकिरित झालेली ऊर्माराशि समान परिस्थितीतील इतर पृष्ठावरून विकिरित होणाऱ्या ऊर्माराशीपेक्षा जास्त असते असे दिसून येते तसेच, इतर पृष्ठाच्या विकिरण शक्तीची अर्हा १ पेक्षा न्यून असते. विकिरण शक्तीसंबंधी पृष्ठाचा पुढील उतरता क्रम लावता येतो (१) पूर्ण कृष्ण, (२) न्यव कृष्ण (dull black), (३) शुभ्र आणि (४) चकचकीत पृष्ठ

### प्रचूपण शक्ति (absorptive power)

सपरीक्ष्य पृष्ठनलावर प्रति वाष्टिकेन आपाति (incident) होणारी ऊर्माराशि रा असून त्या पृष्ठान प्रचूपित होणारी ऊर्माराशि रा' असल्यास,  $\frac{रा'}{रा}$  या निष्पत्तीस त्या पृष्ठाची 'प्रचूपण शक्ति'

म्हणतात. या प्रचूपण शक्तीचे मापन करणे कठीण असते. तथापि पुढील रीतीने दोन भिन्न पृष्ठांच्या प्रचूपण शक्तीची तुलना करता येते. एका हूप तापमानाच्या बंदाला काजळ लावून हें तापमान आ १६-७ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे एका लाकडी पेटोत ठेवतात. पेटोच्या एका पार्श्वाला स्फटिकाचा (quartz) उदुब्ज वीक्ष वसविला असून या वीक्षासमोर दोप्तोष्ण धातुगोल अथवा ज्योत ठेवतात. वीक्षासमोर ठेवलेल्या ऊष्मा प्रभवापासून (source of heat) विकिरित होणारा ऊष्मा वीक्षाच्या साहाय्याने तापमानाच्या बन्दावर भाभिमिन (focussed) करता येतो या ऊष्म्याच्या प्रचूपणाने तापमानाचा ताप वाढून काही वेळाने तापवाचन स्थिर होते. समजा हें स्थिर तापवाचन  $t^{\circ}$  स आहे नंतर धातुगोल अथवा ज्योत एकीकडे साटून या तापमानाचे



वाचन न्यून होत असता, तापवाचन आणि काल यांची वाचने टिपून घेतात. कल्पना केली की, क काळिकांत तापमानाचे वाचन  $t^{\circ}$  श. ने उतरल्यास,  $\left(\frac{t}{k}\right)$  हा  $t^{\circ}$  श. स्थिरताप असताना तापमानाचा शीतनार्ध (rate of cooling) आहे हे लक्षात येईल. तापमानाचा  $t^{\circ}$  श. वरील शीतनार्ध आणि त्याची तापीय धारिता अनुक्रमे श आणि घ ने दर्शविल्यास, तापमानानुन प्रतिकाळिकेत विसर्जित होणारी ऊष्माराशि (श  $\times$  घ) इतकी असते. काजळ लावलेल्या भागाची प्रचूपण शक्ति चू ने दर्शविल्यास,

$$\text{चू} = \frac{\text{तापमानाच्या कंदाने प्रतिकाळिकेत प्रचूपिलेला ऊष्मा}}{\text{कदावर प्रतिकाळिकेत आलेला आपाति ऊष्मा}} = \frac{\text{रा}'}{\text{रा}}$$

$$\therefore \text{रा}' = \text{चू} \times \text{रा}$$

तापमानाच्या कदावर ऊष्मा आपाति होत असता तापमानाचा  $t^{\circ}$  श. ताप स्थिर असल्यास, प्रतिकाळिकेत

तापमानाने प्रचूपण केलेला ऊष्मा = शीतनात तापमानाने बाहेर [टाकलेला ऊष्मा.

$$\therefore \text{रा}' = \text{चू} \times \text{रा} = \text{घ} \times \text{श}$$

तापमानाच्या कदावर दुसऱ्या एखाद्या रंगाचा अथवा वस्तु-द्रव्याचा पातळ थर देऊन दीप्तोष्ण धातुगोलाचा ऊष्मा त्यावर नाभिमित केल्यास,

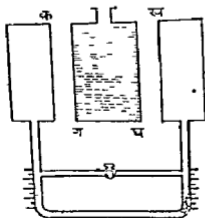
$$\text{चू}_1 \times \text{रा} = \text{घ} \times \text{श}_1$$

$$\therefore \frac{\text{चू}_1}{\text{चू}} = \frac{\text{श}_1}{\text{श}}$$

वरील समीकारात,  $\chi_1$  ने दुसऱ्या पृष्ठाची प्रचूपण शक्ति दर्शविली असून तापमानाचे स्थिर तापवाचन  $t_1$  असताना या तापावरील तापमानाचा शीतनार्थ  $\theta_1$  आहे

प्रचूपण शक्ति निश्चयनाच्या अभ्यासात असे दिमून आले आहे की, पृष्ठाची विकिरण शक्ति ज्या प्रमाणात जास्त अथवा अल्प असते त्याच प्रमाणात त्या पृष्ठाची सापेक्ष प्रचूपण शक्तीहि जास्त अथवा अल्प असते विकिरण शक्ति आणि प्रचूपण शक्ति यांच्या वर सांगिलेल्या परिभाषा योजल्यास, कोणत्याहि पृष्ठाची विकिरण शक्ति ही त्या पृष्ठाच्या प्रचूपण शक्ति इतकी असते हे पुढील सपरीक्षेने दाखविता येते

क आणि ख ही रभावार चापट धातुपात्रे काचेच्या उर्ध्ववाहू नळीने जोडलेली असून ऊर्ध्ववाहूत थोडे रगीत पाणी भरते आकृति १६-८ पाहा क आणि ख या दोहोमध्ये गघ हे रभावार



आ १६-८

धातु-पात्र असते, क आणि घ हे पृष्ठ काजळाने काढे केलेले असून, ख आणि ग ह्या पृष्ठास पगेद्वय वस्तु द्रव्याचा पातळ थर दिलेला असतो. समताप स्थितीत ऊर्ध्ववाहूतील पाण्याच्या स्तम्भाची उंची समान असते. यानंतर, गघ मध्ये उबळते पाणी टाकताना ग पृष्ठावरून विकिरित होणारा उष्मा क पृष्ठावर आपात होता तसेच, घ पृष्ठावरून

विकिरित होणारा ऊष्मा. ख पृष्ठावर आपति होतो. घ आणि ग पृष्ठावरून प्रति काष्ठिकेत विकिरित होणारी ऊष्मा-राशि अनुक्रमे उ आणि उ<sub>१</sub> असल्यास,

$$\frac{उ_१}{उ} = \text{परीक्ष्य पृष्ठाची विकिरण शक्ति} = \text{वि.}$$

घ पृष्ठापासून ख पृष्ठावर आपति होणारी ऊष्माराशि उ असून ख परीक्ष्य पृष्ठाची प्रचूपण शक्ति चू<sub>१</sub> असल्यास, ख पृष्ठात प्रति काष्ठिकेत प्रचूपित झालेला ऊष्मा = चू<sub>१</sub> × उ तसेच, चू ही काजळाची प्रचूपणशक्ति असून ग पृष्ठावरून प्रतिकाष्ठिकेत विकिरित होणाऱ्या ऊ<sub>१</sub> ऊष्म्यापैकी (चू. उ<sub>१</sub>) इतका ऊष्मा काजळ लावलेल्या क पृष्ठात प्रचूपिला जाईल. सपरीक्षेत गघ पान्नातून ऊन पाणी टाकले असता उर्ध्ववाहूतील पाण्याच्या स्तम्भाची उंची समान असल्याचे आढळून येते म्हणून,

क ने प्रचूपिलेला ऊष्मा = ख ने प्रचूपिलेला ऊष्मा

$$चू \times उ_१ = चू_१ \times उ$$

$$\therefore \frac{चू_१}{चू} = \frac{उ_१}{उ}$$

$\frac{चू_१}{चू}$  आणि  $\frac{उ_१}{उ}$  या निष्पत्ती परीक्ष्य पृष्ठाची

अनुक्रमे सापेक्ष प्रचूपण शक्ति आणि सापेक्ष विकिरण शक्ति दर्शवितात काजळाची प्रचूपण शक्ति सर्वात जास्त म्हणजे चू = १ आहे असे मानल्यास, परीक्ष्य पृष्ठाची प्रचूपण शक्ति,

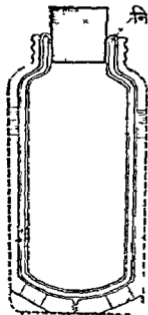
$$चू_१ = \frac{उ_१}{उ} = \text{विकिरण शक्ति}$$

वरील सपरीक्षित थोडे बंगुण्य आहे स परीक्ष्य पृष्ठाचा कोष्ठताप असताना त्या पृष्ठाची प्रचूपण शक्ति आणि त्याच द्रव्याच्या ग या परीक्ष्य पृष्ठाची उच्च ताप स्थितीतील विकिरण शक्ति या दोहोची या सपरीक्षित तुलना केली आहे वास्तविक, स आणि ग याची ही तुलना त्याची समतापस्थिति असताना करावयास पाहिजे.

### स्थिर तापी (thermos bottle)

चकचकीत अथवा शुभ्र पृष्ठ असलेल्या वस्तूची विकिरण शक्ति अल्प असते, आणि चक-

निर्णीत



चकीत पृष्ठावरून आपाति ऊष्मतेपेक्षा बराच ऊष्मा परा वतित होतो. या घटनाचा उपयोग स्थिर ताप-कूपीत केला आहे स्थिरताप कूपी (स्थिरतापी = thermos bottle) काचेची असल्यामुळे या कूपीत ठेवलेल्या उष्ण वस्तूचा ऊष्मा कुसबाहित काचनून फारच अल्प प्रमाणात मरभोवारच्या वस्तूत मिळतो (आकृती १६-१ पाहा)

कूपीच्या दुहेरी काच-निर्णीत-तील बरिमा निवात केलेली असल्यामुळे यातून ऊष्मतेचे न्युद्धन हाऊ शकत नाही निर्वात-परिमेला लागत अस-लेल्या काच-निर्णीतच्या आतील

भागास चादीचा पातळ थर (silvering) दिलेला असतो. चादीच्या या चकचकीत पृष्ठावरून कूपीतील वस्तूपासून निघणारा विकिरित ऊष्मा परावर्तनाने कूपीतील भागासच मिळून ह्या ऊष्म्यापैकी फारच अल्प आणि उपेक्षणीय ऊष्मा कूपीच्या बाहेर पडतो. तसेच कूपीबाहेरील ऊष्मा चकचकीत पृष्ठावरून परावर्तित झाल्याने कूपीत ठेवलेल्या वस्तूपर्यंत जाऊ शकत नाही. या कूपीत हिमखण्ड, शीतपेय इत्यादि ठेवल्यास बाहेरून अत्यल्प ऊष्मा मिळत असल्याने या वस्तू वराच काळ शीत स्थितीत राहू शकतात. तसेच कूपीत चहा, कॉफी, ऊन पाणी इत्यादि ठेवल्यास, या वस्तूची ऊष्माहानि अत्यल्प होत असल्यामुळे त्या वराच काळ उष्ण स्थितीत राहू शकतात

पांढऱ्या चकचकीत पृष्ठावरून विकिरणद्वारा बाहेर पडणारी ऊष्माराशि अल्प असते म्हणून चहादाणी सारख्या भांड्याचा बाह्य पृष्ठ काळसर असण्यापेक्षा पांढरा चकचकीत असावा. काळ्या पृष्ठावरून विकिरण वरेच होत असल्याने ऋणवर्ण पृष्ठ असलेल्या वस्तूचे शीतन लवकर होते या कारणामुळे विकिरणाने होणाऱ्या शीतनाच्या अभ्यासात उपयोगास येणाऱ्या उपमानाचा बाह्य पृष्ठ बहुधा काळा केलेला आढळतो पांढऱ्या पृष्ठाची प्रचूपण शक्ति अल्प असल्याने, पांढऱ्या कपड्यातून सूर्यकिरणातील ऊष्म्याचे प्रचूपण अल्प होते, म्हणून उन्हाळ्यात पांढरे कपडे वापरणे हितकर असते.

### ऊष्मा विनियम सिद्धांत (theory of heat exchanges)

दीप्तोष्ण धातुगोल क या न्युट्रज परावर्तकाच्या नामि-विन्दू-जवळ असल्यास (आकृती १६-५ पृ ४०१ पाहा) ख परावर्तकाच्या नामिस्थानी असणाऱ्या तापचितीस धातुगोलाचा ऊष्मा मिळतो अमे आपण म्हणतो क परावर्तकाच्या नामि-स्थानी दीप्तोष्ण वस्तू न ठेवता त्या ठिकाणी हिमखण्ड ठेवल्यास, या परिस्थितीत तापचितीच्या



द्युवाहमानात विरुद्ध दिशेने व्याकोचन झालेले दिसते. याचे कारण हिमखण्डातून शीत रश्मीचे (cold rays) विकिरण होते असे पूर्वी मानण्याचा प्रघात होता. उष्मा-विकिरण (heat radiation) आणि शीत-विकिरण (cold radiation) अशी काहीशी अनिश्चित परिभाषा पूर्वीच्या काळात रूढ होती. कोणतीही वस्तु आणि परिवारातील (surroundings) वस्तु समूह यामध्ये विकिरित ऊष्म्याची परस्पर देवघेव होत असावी ही कल्पना प्रिव्होस्ट या शास्त्रज्ञाने प्रथम स्पष्ट केली. न्यूटन परावर्तकाच्या सपरीक्षण उष्ण धातु-गोलाचा ऊष्मा विकिरणद्वारा तापचितोला जसा मिळतो तसाच तापचितीने विकिरित केलेला ऊष्माहि उष्ण धातु-गोलामिळतो. उष्ण धातु-गोलाने विकिरित केलेला ऊष्मा, तापचितीपामून धातुगोलाम विकिरणद्वारा मिळणाऱ्या ऊष्म्यापेक्षा जास्त असल्याने धातुगोलाचा ताप न्यून होत जातो. उलटपक्षी, तापचितीपामून उदगिरणद्वारा होणाऱ्या ऊष्माहानीपेक्षा तापचितीला धातू गोलापामून मिळणारी ऊष्माराशि, जास्त असल्याने तापचितीला परिणामी जास्त ऊष्मा मिळून तिचा ताप वाढतो.

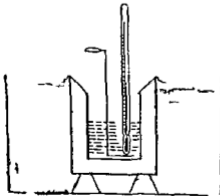
उष्ण धातु-गोलाच्या स्यानी हिमखंड ठेवल्यास, बोफ्टताप-भ्यितीतील तापचितीपामून विकिरित झालेली ऊष्माराशि, हिमखण्डा पामून तिला विकिरणद्वारा प्राप्त होणाऱ्या ऊष्माराशिपेक्षा जास्त असल्याने तापचितीच्या ऊष्माराशीत हानि होऊन तिचा ताप न्यून होऊ लागतो. तसेच, हिमखण्डास जास्त ऊष्मा मिळाल्या कारणाने त्याचे द्रवण होऊ लागते. यावरून, हिमखण्डापामून शीतरश्मि मिळून ते तापचितीस मिळतात असे मानण्याचे कारण उरत नाही. कोणत्याही वस्तूचा ताप समोवाराच्या वस्तूच्या तापाइतका स्थिर असल्यास, त्रितरा ऊष्मा वस्तूतून विकीरणाने बाहेर पडतो तितकाच

ऊष्मा त्या वस्तूस आपाति ऊष्म्याच्या प्रचूषणाने मिळतो. अशी समताप स्थितीतील ऊष्मा विनियमाची कल्पना आहे.

दोन वस्तूतील ऊष्मा-विकिरणाची देवघेव भिन्न तापस्थितीत होते असे नाही कोणत्याहि तापस्थितीत विकिरित ऊष्म्याची देवघेव वस्तुसमूहात चालू असते. उष्मा विकिरण आणि प्रचूषण या त्रियानी परिवारणाच्या (surrounding) तापापेक्षा एखाद्या वस्तूचा ताप वाढणें अथवा न्यून होणें हे त्या वस्तूवरून विकिरित होणारा ऊष्मा आणि त्या वस्तूस प्रतिकारिष्ठकेत परिवारणापासून विकिरणद्वारा मिळणारा ऊष्मा या दोहोवर अवलंबून आहे.

### विकिरणाने होणारे शीतन (cooling by radiation)

विकिरणाने वस्तूतील ऊष्म्याची हानि होऊन वस्तूचा ताप न्यून होती ही घटना आपल्या परिचयाची आहे. प्रतिकारिष्ठकेत न्यून होणाऱ्या तापसह्येस शीतनाघं (rate of cooling) ही संज्ञा



आ. १६-१०

आहे. शीतनाघांचि निश्च-  
यन पुढीलप्रमाणे करतात  
उपमानान ऊष्ण सरल  
ठेवून, ह उपमान मोठ्या  
रम्भपात्रात दोरीने अधो-  
लम्ब ठेवतात अथवा  
कुसवाहक वस्तुद्रव्याच्या  
आधारावर ठेवतात हे  
मोठे रम्भपात्र बऱ्याच  
मोठ्या पात्रातील पाण्यात  
ठेवलेल असते (आकृति  
१६-१० पाहा) विचा-

अल्प तापभेद स्थितीतील शीतनार्थ आणि तापभेद यामधील वरील सबंधास 'न्यूनता शीतन नियम' म्हणतात. उपमान आणि परिवारण यातील वरिमा निर्वात नसल्याने न्युद्वहन क्रिये-मुळेही थोडी ऊष्माहानि होते अर्थातच अशा स्थितीत विकिरणद्वारा तसच न्युद्वहनद्वारा उपमानाचे शीतन होत असते. सध्या ह्या स्थिराकाची अर्हा उपमानाच्या पृष्ठाचे स्वरूप, त्याचे क्षेत्रफळ आणि उपमानातील तरलाची तापीय धारिता यावर अवलंबून आहे.

उपमितीतील अनेक सपरीक्षात ऊष्ण वस्तुपासून उपमानास आणि त्यातील तरलास ऊष्मा मिळून उपमानाचा ताप वाढतो. या स्थितीत उपमानातून सभोवारच्या वस्तूस विकिरणाने ऊष्मा मिळून उपमानातील उष्म्याची हानि होते. अशी ऊष्माहानि झाली नसती तर उपमानाचे उच्च तापवाचन, प्रत्यक्ष तापवाचनापेक्षा थोडे जास्त झाले असते. विकिरणामुळे होणाऱ्या या तापहानीस 'विकिरण विभ्रम' (errors due to radiation) ही संज्ञा आहे. ह्या विभ्रमाचे शोधन पुढीलप्रमाणे करतात.

### विकिरण-शोधन (radiation correction)

वल्पना करू की, आपेक्षिक ऊष्म्याच्या निश्चयनात उपमानात ऊष्ण वस्तुपासून उपमानाचा उच्चताप ( $t_a$ ) स्थिर होण्यास लागणारा काल क कला (minute) आहे. उच्च ताप स्थिर झाल्यानंतर, विकिरण इत्यादींनी होणाऱ्या ऊष्माहानीमुळे उपमानाचा ताप न्यून होऊ लागेल. या स्थितीत, क' कलात उपमानाचा ताप  $t'$  असांनी उतरल्यास,  $\frac{t'}{t}$  हा उपमानाचा  $t_a$  तापस्थितीतील शीतनार्थ आहे. उपमितीच्या सपरीक्षातील उपमानाचा  $t_a$  स्थिर ताप आणि सभोवारच्या वस्तूचा ताप यातील तापभेद बहुधा अल्प

असतो. म्हणून न्यूटनच्या शीतन नियमाचा उपयोग करून पुढील-  
प्रमाणे उपमानांच्या तापहानीचे गणन करतात. संपरीक्षेच्या प्रारंभी  
उपमानाच्या ताप आणि परिवारणाचा ताप ममान असल्याने,  
प्रारंभीचा शीतनापं दून्य अगतो.

$$\therefore \frac{\text{प्रारंभीचा शीतनापं} + \text{अंतिम शीतनापं}}{२} = \text{माध्य शीतनापं}$$

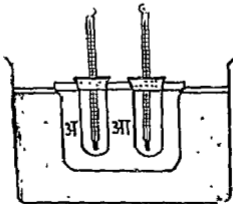
$$\therefore \text{माध्य शीतनापं} = \frac{0 + \frac{t'}{k}}{२} = \frac{१}{२} \cdot \frac{t'}{k}$$

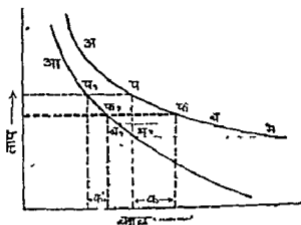
या माध्य शीतनापनि  $k$  कलांत होणारी तापहानि  
 $\left( \frac{१}{२} \cdot \frac{t'}{k} \times k \right)$  इतकी होईल. म्हणून विभिरमाने उपमानांशी  
 आम्हादनि शाब्दी शाली नमनी तर उपमानाचे उत्पन्नताप बाबत  
 $\left( t_1 + \frac{१}{२} \cdot \frac{t'}{k} \times k \right)$  इतके शाले अगते विद्यम शीतनाप

अमल्यास प्रत्येक पृष्ठावरून प्रतिकालिकेत विकिरित होणारी ऊष्माराशि समान असते.

### आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करण्याची शीतन रीती (specific heat by method of cooling)

वरील प्रचितीच्या साहाय्याने पुढील प्रमाणे तरलाच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करता येते. अ आणि आ या दोन समान आकाराच्या उपमानांच्या बाहेरील पृष्ठ सारखाच कृष्णवर्ण केलेला असून, आकृति १६-१२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ही उपमाने आंतून काढ्या केलेल्या एका मोठ्या पात्राच्या झाकणात बसविली असतात. हे मोठे पात्र कोष्टतापावरील पाण्यात आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे बसविलेले असते, दोन काचनळ्यात पाणी आणि त्याच्या समान परिमेचे तरल घेऊन त्या नळ्या स्थिर तापनात तापवितात. नंतर हे उष्ण पाणी आणि उष्ण तरल अनुक्रमे अ आणि आ या उपमानात टाकतात. यानंतर पाणी आणि तरल याची तापवाचने योग्य





आ. १६-१२

बालावर्धन घेतात अर्चे तापवाचन आणि काल, तसेच आ अ ये तापवाचन आणि काल यांचे दोन विदुरेय भावृति १६-१३ मध्ये दाखविल्याप्रमाणे वाढतात. विदुरेयानरोल प आणि प<sub>१</sub> या विदुरेय दर्शविलेल्या स्थितीत दोन्ही उपमानांचा समताप असतो. तसेच क आणि क<sub>१</sub> या स्थितीत दोन्ही उपमानांचा ताप समान आहे याएवढे, प आणि प' या कालगण्डान अनुक्रमे अ आणि आ या उपमानांचा  $\frac{(T_1 + T_2)}{2}$  हा माध्यम समान असतो याची आणि सरळ याच्या परिमाण समान असल्याने त्याच्या सरवनात्र येनाच्या (सारख्या आकाराच्या) उपमानांच्या पृष्ठांचे क्षेत्रफळ समान असते या समान क्षेत्रफळ असल्याने समरूप पृष्ठांवरून माध्य ताप  $\left( \frac{T_1 + T_2}{2}, \dots \text{इत्यादि} \right)$  समान असणाना प्रवि-  
 काट्टिनेन विरहित होणारी उष्णतासि समान असते. म्हणून

$$\frac{(पु + ज)}{क} (t_1 - t_2) = \frac{(पु' \cdot ऊ + ज')}{क'} (t_1 - t_2)$$

वरील समीकारात उपमानातील पाण्याचा आणि तरलाचा पुज अनुक्रमे पु आणि पु' ने दर्शविला असून उपमानाचे जलसमाहं अनुक्रमे ज आणि ज' ने दर्शविले आहेत.  $\left(\frac{t_1 - t_2}{क}\right)$

आणि  $\left(\frac{t_1 - t_2}{क'}\right)$  हे या उपमानाचे समान तापस्थितीतील शीतनार्ध आहेत वरील समीकार पुढील प्रमाणे लिहून

$$\frac{(पु + ज)}{क} = \frac{(पु' \cdot ऊ + ज')}{क'}$$

या साहाय्याने तरलाच्या ऊ या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करता येते. घ, व, आणि भ, भ, ह्या द्विद्रवरील तापवाचन आणि शीतनार्ध यांच्या साहाय्याने वरील सगरखाच समीकार लिहून ऊ चे गणन दुसऱ्या वाचनाच्या साहाय्याने करता येते. शीतन नियम कोणत्याहि ईयत्तात्मक स्वरूपाचा (quantitative form) असला तरी त्या नियमावर वरील संपरीक्षेतील ऊ चे गणन अवलंबून नसते हे लक्षात ठेवणे आवश्यक आहे या संपरीक्षेत तरलाचा आणि उपमानाचा ताप विचालकाच्या साहाय्याने समान ठेवता येतो. साद्राच्या बाहेरील पृष्ठाचा त्राप आणि आंतील भागाच्या ताप समान ठेवणे अशक्य असल्याने वरील रीतीने सांद्राच्या आपेक्षिक ऊष्म्याचे गणन करणे शक्य नसते.

### स्टीफन्च्या विकिरण नियम (Stefan's law of radiation)

इप्लॉग आणि वेटि यानी केलेल्या शीतनासंबंधीच्या काही

प्रयोगाच्या अभ्यासावरून स्टीफन् या शास्त्रज्ञाने पृष्ठतलाचा ताप आणि त्यापामून विकिरित होणारी ऊष्माराशि याचा पुढील संबंध दर्शविला. 'प्रतिकाष्ठिकेन पृष्ठावरून विकिरित होणारी ऊष्माराशि ही पृष्ठाच्या प्रकेवल तापाच्या चतुर्थ घाताशी अनुपाति असते.' स्टीफन्चा हा विकिरण नियम पुढील सूत्राद्वारे दर्शविण्याचा प्रघात आहे.

$$R = S \times T^4$$

वरील समीकारात पृष्ठाचा प्रकेवल ताप  $T$  असताना त्यावरून प्रतिकाष्ठिकेत विकिरित झालेली ऊष्माराशि  $R$  असून  $S$  हा स्थिरांक आहे. कृष्णवर्ण पृष्ठावरील विकिरणाच्या अभ्यासाने स्टीफन्च्या वरील नियमाची प्रचीति घेतलेली आहे. ताप प्रवर्गिकीच्या प्रनियमाच्या साहाय्याने स्टीफन्चा वरील नियम सिद्ध करता येतो.

स्टीफन्च्या नियम आणि प्रिडहोस्ट्रच्या ऊष्मा विनिमय सिद्धांत यांच्या साहाय्याने न्यूटन्च्या शीतन नियमाचे स्पष्टीकरण करता येते. कल्पना करू की, वस्तूचा आणि परिवारणाचा ताप स्थिर आहे. स्टीफन्चा नियमान्वये या स्थितीत पृष्ठावरून विकिरित होणारी ऊष्माराशि ( $S \cdot T^4$ ) आहे. ऊष्मा-विनिमयाच्या सिद्धांताप्रमाणे जेव्हा वस्तूचा प्रकेवलताप  $T$  परिवारणाच्या तापासमान असतो तेव्हा वस्तूत विकिरणाने होणारी ऊष्माहानि परिवारणापामून वस्तूम मिळणाऱ्या ऊष्माराशीसमान असते.

प्रिडहोस्ट्रच्या ऊष्मा विनिमय सिद्धांताप्रमाणे,

समताप स्थितीत परिवारणापामून विकिरित झालेल्या ऊष्मापैकी वस्तूने प्रचूपलेला ऊष्मा = वस्तूवरून विकिरणाने होणारी ऊष्माहानि  
=  $S \cdot T^4$  [स्टीफन्च्या नियमाप्रमाणे.]



आता, समावरणाचा प्रवेवल ताप ता<sub>१</sub> असून वस्तूचा ताप ता<sup>०</sup> श नै जास्त असल्यास, वस्तूचा प्रवेवल ताप ता<sub>१</sub> = (ता + त) होईल या स्थितीत परिवारणापामून वस्तूस मिळणाऱ्या ऊष्माराशीत परिवर्तन न होता तिची अर्हा वरील समीकारात दर्शविल्याप्रमाणें (स ता<sup>०</sup>) इतकीच असते परंतु वस्तूचा ताप वाढल्याने तिच्या पृष्ठावरून प्रतिकाष्ठीकेत विकिरित होणारा ऊष्मा (स × ता<sub>१</sub><sup>०</sup>) इतका होईल यामुळे वस्तूतून प्रतिकाष्ठीकेत होणारी परिणामी ऊष्माहानि = स ता<sub>१</sub><sup>०</sup> - स ता<sup>०</sup> = स (ता<sub>१</sub><sup>०</sup> - ता<sup>०</sup>)

शीतनाथं ऊष्माहानीशी अनुपाति असल्याने,

$$\text{शीतनाथं} \propto \text{स} (\text{ता}_{१}^{\circ} - \text{ता}^{\circ})$$

परंतु, ता<sub>१</sub> = (ता + त)

यात त हा वस्तू आणि परिवारण या दोहोतील तापभेद आहे

$$\text{शीतनाथं} \propto \text{स} [ (\text{ता} + \text{त})^{\circ} - \text{ता}^{\circ} ]$$

$$\text{शीतनाथं} \propto \text{स} \left\{ \text{ता}^{\circ} \left( 1 + \frac{\text{त}}{\text{ता}} \right)^{\circ} - \text{ता}^{\circ} \right\}$$

तची अर्हा अल्प असल्यास म्हणजेच तापभेद अल्प असल्यास <sup>त</sup> ता या अल्प सख्यांचे वर्ग, घन इत्यादि उच्च घात उपेक्षणीय मानून द्विपद प्रमेयाच्या साहाय्याने वरील सबच पुढील प्रमाणे दर्शविता येतो

$$\text{शीतनाथं} \propto \text{स} \left\{ \text{ता}^{\circ} \left( 1 + ४ \frac{\text{त}}{\text{ता}} + \right) - \text{ता}^{\circ} \right\}$$

शीतनाथं  $\propto \chi$  म. ता<sup>३</sup>. त

सभोवारच्या वस्तूचा प्रकेवल ताप ता स्थिर असल्याने  
वस्तूचा शीतनाथं  $\propto$  त

शीतनाथं  $\propto$  वस्तूचा ताप आणि सभोवारच्या वस्तूचा ताप  
[ यातील तापभेद

त ह्या तापभेदाची सग्यात्मक अर्हा शक्ति श्रेणीतील आहे  
तापश्रेणी परिवर्तनाने दुसऱ्या तापश्रेणीतील तापसध्येने हा तापभेद  
दर्शविता येतो.

### प्रश्न

(१) स्थिर-ताप कुपीतील वस्तूचा ताप स्थिर कां असतो हे  
सविस्तर सागा.

(२) स्टीफन्च्या विकिरण नियमाच्या साहाय्याने न्यूटनचा  
शीतन नियम सिद्ध करा

(३) न्यूटनच्या शीतन नियमाच्या साहाय्याने उपमानातील  
विकिरणाने होणाऱ्या तापहानीच शोधन कसे करतात हे स्पष्ट करा

(४) विकिरण शक्ति आणि प्रचूपण शक्ति यांच्या व्याख्या  
दा आणि यांचे मापन कस करतात ते सविस्तर सागा

(५) तरलाच्या आपेक्षिक उष्मा-गणनाच्या शीतन-रीतीत  
काणडी अनुमाने मत्प मानली आहेत ते स्पष्ट करा

(६) उष्मा प्रचूपणाच्या सपरीक्षण सापमानाच्या कन्दास

एका वस्तु-द्रव्याचा थर देऊन त्या कन्दावर सूर्याचे किरण नाभियित केल्यास, तापमानाचा ताप  $४५^{\circ}$  श. वर स्थिर होतो सूर्यकिरणांतून तापमान एकीकडे ठेवल्यास, या तापस्थितीत तापमानाचा ताप प्रति क्लेत  $०.५^{\circ}$  श ने उतरतो. त्याच तापमानाच्या कन्दावर पहिल्या वस्तु-द्रव्याचा थर काढून दुसऱ्या वस्तु-द्रव्याचा थर दिला आहे. पूर्वीप्रमाणेच कन्दावर सूर्यकिरण नाभियित केल्यास, तापमानाचा ताप  $५०^{\circ}$  श वर स्थिर होतो या तापस्थितीत तापमानाचा शीतनार्ध  $०.६^{\circ}$  श. असल्याचे आढळून येते. यावरून, या दोन वस्तु-द्रव्या सापेक्ष प्रचूपण शक्तीचे गणन करा

# भारतीय-आंग्ल शब्दावलि

अशत शून्यकित evacuated (vacuum शून्यक)	partially	अचलातु invar
अक्षदंड axle		(invar 'from invariable', its coefficient of linear expansion is approxi- mately, 0.000001 per degree centigrade
अक्षांश latitude		अचलातु-अचल invariable, + -आतु for धातु metal or alloy)
अग्निमान pyrometer		
अग्निशक्ति fire engine		
(शक्ति from श + क्त a suffix indicating an instrument, apparatus or machine)		
अकशोधन (calibration act of checking the accuracy of a set of graduations अक)	calibration	अणुमान भ्रमि micrometer screw (micrometer = micro-अणु- + -मान -meter)
अकित graduated		अणु-मान भ्रम्यामान micro meter screw-guage
अचल निमज्जन तरलमान Nicholson's hydro- meter (constant अचल immersion निमज्जन hydrometer तरलमान)		अण्वीक्ष (micro- अणु + -scope -इक्ष ) अतुलित unbalanced अदिश राशि scalar quantity (an undirected अदिश quantity राशि)

अधितापन superheating	अनुश्रेणी vernier = vernier scale
अधिशीतन supercooling	अनुश्रेणी व्यासमि vernier calipers (व्यास diameter + -मि from $\sqrt{\quad}$ मा to measure Calipers are used for determining the thickness or diameter of objects)
अधोवाहु नली (M), अधोवाहु-नाल Hare's apparatus	अनुश्रेणी स्थिराव vernier constant
अननुविद्ध unsaturated	अतरत internally
अनल काच Jena glass	अन्तराल pitch (of a screw)
अनीर वापीडमान aneroid barometer (aneroid = a not + <i>neros</i> wet + -oid, containing no liquid. अनीर = अ - without नीर water)	अन्तराल interval
अनुगामी consecutive	अन्तराव्यूहाण्विक बल inter-molecular force
अनुन्यास configuration	अन्तिम प्रवेग final velocity
अनुप्रस्थ तन्तु cross wire	अन्वायाम विकार linear strain = longitudinal strain (अन्वायाम = अनु- along + आयाम length)
अनुरेख विस्तरण linear expansion (अनुरेख along the line)	अन्वेषण research
अनुरेख विस्तार गुणक coefficient of linear expansion	अपरावर्तिक रूप allotropic form (allotropy अपरावर्तना is from Greek <i>allos</i> other अपर + <i>tropos</i> direction from <i>trepein</i> to turn आवर्तन)
अनुविद्ध saturated	
अनुवेधन saturation (अनु- + वेधन penetration To saturate is to cause to become completely penetrated)	

अपवर्त्यं multiple	अरिचक्र steering wheel
अभय दीप safety lamp	(अरिचक्र propelling, driving, is a Vedic word)
अभिघटिति plasticity	
अभिघटय plastic	
अभिनत समतल inclined plane	अरीय radial (fr radius अर)
अभिलागी adhesive	अर्घं rate
अभ्याकृष्टि-स्थिराक gravitational constant	अर्घातिवेध्य semipermeable
अभ्याकृष्टीय बल gravitational force (gravitation अभ्याकृष्टि, अभि + आकृष्टि)	अर्घातिवेध्य कला semipermeable membrane (अर्घं-semi- + अतिवेध्य permeable)
cf gravity (terrestrial gravitation) भ्वाकृष्टि (भू earth + आकृष्टि attraction)	अल्पकालीन ऋण शून्य - विघ्नम temporary fall of zero
अम्ल acid	अल्प निषोडमान McLeod gauge (it is a low pressure निषोड gauge सामान )
अयम् iron (The word iron is derived from Sanskrit अयस्)	अल्पिष्ठ माप least count
अयोझंर निशोल grid-iron pendulum	अवचस्तिर बिन्दु lower fixed point
अयोवरा iron-rail	अवश्याय dew (ancient word cf Hindi ओस)
अर spoke (cf आरा in Marathi and अरा in Hindi)	अवश्यादाय dew point
	अवस्थापरिवर्तन change of state
	अविनाश्य indestructible
	अविलय insoluble

अणुतिक श्रेणी Reaumur scale ( thermometer scale $0^{\circ} R-80^{\circ} R$ , अणुति is eighty )	आनुक्रमिक successive आनुपातिक proportional ( from अनुपात pro- portion )
अशुद्धि impurity	आन्तर गुप्त ऊष्मा internal latent heat
अश्वशक्ति horse power	आन्तर बल internal force
असमाह्वी nonconducting	आपात incidence ( inci- dence = the falling of a projectile ray of light etc on a surface
असृज्य uncreatable	आपात from आ- + पात mean- ing falling, is an ancient word )
अस्थिर-स्थिति unstable state	आपात incident ( from आपात )
आशुद्धि आम्बन partial dis- tillation	आपनिक ऊष्मा specific heat
आशुद्धि नियम law of partial pressures	आपनिक-घनता कृपी specific gravity bottle
आशुद्धि pulley	आपनिक भार specific gravity
आघात stroke	अभियांत्रिकी engineering ( as a science )
आतय tensile ( from आ- + √तन to stretch )	आम्भसपीड hydraulic press Bramah press
आत्मनिष्ठ ( Marathi ) sub- jective	आयाम length ( आयाम ancient word )
आत्मवह, आत्मवाहक auto- mobile	
आदर्श वाति perfect gas ideal gas	
आद्य initial ( आद्य is an from आदि first )	
आद्य प्रवेग initial velocity	

आरोध brake (आ - + रोध check)	इयत्तात्मक quantitative (इयत्ता is a feminine abstract noun from इयत् 'so large', 'so much'. इयत्ता meaning 'quantity' is an ancient word. - आत्मक is an adjectival suffix).
आर्द्र moist	
आर्द्र आणि शुष्कबन्द तापमान, आर्द्र और शुष्कबन्द तापमान wet and dry bulb thermometer	
आलग viscous (आ - + √ लम् to adhere)	इष्टिका block
आलगत्व viscosity	ईशक observer
आवर्तकाल periodic time	उच्च स्थिर बिन्दु upper fixed point
आवृत screened	निर्माणशाला, निर्माणी factory
आवेपन vibration	उत्प्लाविता buoyancy (from उत् up + √ प्लु to swim, float; buoyancy is the property of floating on the surface of a liquid)
आवेपन ऊर्जाको मध्यक अर्धा, आवेपन ऊर्जा को मध्यक अर्धा mean value of the energy of vibration	
आमवन distillation (from आ + √ सु to distil. Cf. आसोता a Vedic word)	उत्प्लाविता-नियम principle of buoyancy, principle of Archimedes
आमृति osmosis (from आ - although मृति flow)	उन्मेष-मान cathetometer [उन्मेष height (ancient word) + मान meter]
आमृति-निपीट osmotic pre ssure	
इन्धन fuel	उन्मेषावायु exhaust pump उत्स्फोट explosion, explosive



उदप्र vertical (उत् upward + अग्र end)	उदाहन lifting, lift (उदाहन is an ancient word)
उदप्र श्रेणी vertical scale	उदाही उदच lift pump
उदप्रोन्मुख vertically upwards	ऊर्ध्वज ellipsoid [ ऊर्ध्व = ऊर्ध्व ellipse (एकोन less than one + उत्केन्द्रता eccentricity) + -ज generated by ]
उदजन hydrogen (Greek <i>hydro</i> = Sanskrit उद water + <i>gen</i> = Sanskrit -जन generating)	उन्दमान hygrometer (उन्द moisture + मान meter. Hygrometer is from Greek <i>hygros</i> wet, moist + meter. It is an instrument for measuring the degree of moisture of the atmosphere)
उदच pump (उदच that raises or lifts up, from उद् up + √अच् to raise)	उन्दमिति hygrometry
उदुब्ज convex (उद् + उब्ज bent up, cf. न्युब्ज concave, from नि + उब्ज bent down)	उपकरण instrument (उपकरण is an ancient word)
उदुब्ज वीक्ष convex lens	उपकल्पना hypothesis (from उपकल्प् to assume, suppose, ancient word)
उद्गिरण emission	उपमाय comparator (from उपमा to compare + -य a suffix indicative of an apparatus or instrument)
उद्गिरण-शक्ति emissive power	
उद्वापन evaporation (to pass off उद् as vapour वाष्प)	
उद्यम lever (उद् + √यम् to raise up)	
उद्योग-स्थान places of industry	



ऋजुताप निपीड normal temperature and pressure	कला minute (ancient word)
ऋजु बुदबुदाक normal boiling point	कला membrane (कला ancient word)
ऋजुरेखीय rectilinear	कवक fungus
ऋजु वायुमंडलीय निपीड normal atmospheric pressure	काय निष्पत्ति efficiency (of a machine) (efficiency is the ratio of useful work done by a machine to the energy supplied)
ऋण negative (ऋण ancient word)	
ऋ ता नि N T. P (normal temperature and pressure)	काल time
एकक unit	कालान्तराल interval of time
एकपरमाण्विक monatomic	काष्ठा ताप critical temperature (काष्ठा limit, cf. पराकाष्ठा highest limit)
एकपरमाण्विक वाति monatomic gas	काष्ठा निपीड critical pressure
एकस्य प्रवेग uniform velocity	काष्ठा परिमा critical volume
एकांतरतया alternately	काष्ठिका second (काष्ठा is a measure of time, 's' of a कला कला being a minute काष्ठा will be more than १ second काष्ठिका thus is १ second, the suffix -इका being added in the sense of diminution)
ओज watt	
बन्द bulb	
बपाट valve	
बउरी बाना (Marathi) scissors	
काम work	
काम तथा शक्ति work and power	कुण्ड छिद्र, बायल छिद्र (Marathi) blunt bore

कुन्तल spiral	क्षारतुनीरेय sodium chloride
कुन्तल स्कन्द hair spring	क्षिप jet
कुप्पातु zinc	क्षुरी-धारा knife edge
कुसवाहक bad conductor	क्षेत्रफल area
कुसवाही low conducting	क्षैतिज horizontal
कूपर crank (a bent portion of an axle, an arm, an elbow-shaped brace, etc कूर्पर elbow)	खनि mine (खान in Hindi and खान in Marathi)
कूर्पर हस्तक crank handle	अभय दीप safety lamp
केन्द्र भ्रमि centre screw	गति motion
केशाल capillary tube (केशाल = केश + ञाल)	गतिक ऊर्जा, गति-ऊर्जा kinetic energy
केशालत्व capillarity	गतिक सिद्धांत, गति-सिद्धांत kinetic theory
कोटिश्रम् (joule $10^7$ कोटिश्रम्)	गत्र engine (✓ गम् to go + -त्र, -त्र indicates an instrument or machine)
कोशक mile (कोश is greater than a mile, -क is a diminutive suffix)	गभीरता depth
क्षारतुल्वित photographer's hypo (Hypo (sodium hyposulphite) क्षारतुल्वित (contracted from क्षारतु sodium उदरतुल्वित hyposulphite)	गमता momentum (गमना is from गम् going Momentum is the property of a moving body which determines the length of time required to bring it to rest)
	गमन propagation
	गुप्त ऊष्मा latent heat

गोल sphere	चक्र wheel
गोलत्वमान spherometer	चक्र तथा अक्षदंड wheel and axle
गोलाभीय स्थिति spheroidal state	चर्मसून leather bag
घटक (Marathi), सघटक component	चल अवस्था variable state
घटना phenomenon	चल प्रवेग variable velocity
घटीवन clockwise	चल भ्रमि movable screw
घनता density	चलिष्णु mobile
घनता कूपी density bottle	चुम्बक magnet
घनवातिकी meteorology	चुम्बकीय magnetic
(घनवातिकी = घन clouds + वात wind + -इकी a suffix indicating a science See note on मीतिकी in the Introduction)	चूर्ण powder
घनवातिकी-विभाग meteorology department	चूर्णातु नीरेय calcium chloride
घन-विस्तार-गुणक coefficient of cubical expansion	चूषित्र aspirator (aspirator is a suction चूषण apparatus. -त्र indicates an apparatus)
घन घटिमान cubic centimeter	चूषोदक suction pump
घनातु iridium	जटिल complex
घृषि rubber (from- ✓ घृष् to rub)	जडता inertia
घृषि-कन्दुर rubber ball	जनित्र generator (जनित्र is from √जन् to generate + -त्र a suffix signifying an apparatus Latin generate to generate is the same as Sanskrit जन्)
घृषि-त्वशा rubber cork	

जम्ब jaw	तरलमान hydrometer
जल का वाष्प निपीड, वाष्पचाप वाष्प निपीड, vapour pressure of water	(hydrometer is an instrument for determining specific gravities of liquids तरल)
जल-पंजर water trap	
जल वाष्प water vapour	
जल समान water equivalent	तरल-स्थितिकी hydro statics
जलाप्रवेश watertight (जला प्रवेश = जल + अप्रवेश)	तरल-स्थितिकीय रीति hydro static method
जलाशय reservoir	तरल-आतति surface tension (आतति is from आ + √ तन् to stretch English tension is also from √ तन्)
जारख oxygen (जारख was used in ancient times for oxidizing of metals)	तरल विस्तार-गुणक coefficient of superficial expan- sion
जीवा chord (जीवा for chord of an arc is an ancient word)	तारनाडिक inst ant ineous तारनाडिक प्रवेग inst an taneous velocity
जैविकीय biological	ताप temperature
झिल्ली film	ताप-क्षेत्र range of tempe rature
तथ्य विज्ञान exact science	ताप-बिंदु thermopile (thermo- ताप- + pile बिंदु बिंदु is an ancient word)
तरंगदैर्घ्य wavelength	
तरल liquid	
तरलन liquefaction	
तरलन-ताप temperature of liquefaction	
तरल निवनाति liquid ammonia	

तापन hot bath	ताम्र copper
ताप-प्रवणक gradient temperature	तिक्ताति ammonia
ताप-प्रवैगिकी namics thermody	तुला balance
ताप-भेदमान thermometer differential	तुला-चक्र balance wheel
तापमान thermometer	तैल-तापन oil bath
तापमान के विभ्रमों का शोधन, तापमानाच्या विभ्रमाचे शोधन, correction for errors of a thermometer	त्रिकोणमिति trigonometry
तापमिति thermometry	त्रिपाद tripod
ताप-मिद्युन thermo-couple	त्रिमार्ग-शिबो three-way cock
तापयेणो scale of tempera- ture	त्वक्षा cork
तापस्थाप् thermo-tat	त्वरण acceleration ( √ त्वर to hurry )
[thermo- ताप- + -stat स्याप् -stat denotes apparatus that renders (something) stationary स्याप from √ स्या causative rendering stationary]	दक्षु ether (दक्षु 'burning' is from ऋग्वेद. It is from √ दह, ether is a highly inflammable liquid )
नापीय धारिता thermal capacity	दक्षु-तापेक्ष ether thermo- scope
	दक्षुलेन्य ethylene
	दशमिक पद्धति decimal system (decimal is from Latin <i>decimus</i> tenth दशम + -ic -इव दशमिक is already current in Bengali)

दाहक burner	द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा, द्रवण की गुप्त ऊष्मा latent heat of fusion
दीर्घकालीन धन शून्य-विभ्रम secular rise of zero	द्रवद् हिम melting ice
दुग्धमान lactometer	द्रवित सैकजा fused silica
दूरेश telescope	द्रव्य matter
देशना index	द्रव्याचा गति-सिद्धांत, द्रव्यका गति-सिद्धांत kinetic theory of matter
देष्टा pointer (from √ दिश to point)	द्रव्य-स्थिरता नियम law of conservation of matter
द्युरोध ohm (unit of electrical resistance) (द्युरोध abbreviated from विद्युत् electricity + रोध resistance)	द्रावाक melting point
द्युबहि ampere (unit of intensity of electric current) (द्युबहि abbreviated from विद्युत् electricity + बहि current)	द्रोणी trough
द्युवाहमान galvanometer (an instrument for measuring a small electric current विद्युद्-वाह. द्युवाह short for विद्युद्-वाह + मान meter)	द्रात्रिशादि श्रेणी Fahrenheit scale (द्रात्रिशादि = द्रात्रिशा thirtytwo + आदि beginning Fahrenheit scale has its freezing point at 32°)
द्रवण melting	द्विघातन squaring
	द्विपद-प्रमेय binomial theorem
	द्विभाजन bisect
	धन positive (धन is an ancient word)
	धातु मजूया metal box



घान्य gram ( see note on Weights and Measures in the Introduction )	निनाल syphon ( निनाल = नि down+नाल tube Syphon is a tube bent to form two branches ... by which a liquid can be transferred to a lower level )
घान्य-व्यूहाणु gram molecule	
घाबल dyne (घाबल is short for घान्य gram+बल force)	
घारिता capacity	निपीड pressure
घावन-क्षार washing soda	निपीड-गुणक pressure-coefficient
घूपेन्य benzene	
घूममार्ग, घुराडें ( Marathi ) chimney	निपीड-पारेष्यता transmissibility of pressure
छद्व-वृत्त meridian (meridian is a great circle of the celestial sphere passing through its poles छद्व)	निपीड-मोच दीतन प्रभाव Joule-Thomson effect
वृत्त of the celestial sphere passing through its poles छद्व)	निपीडामान pressure guage
	निमज्जक sinker
	निरयन elimination
नह nut (of a screw) (नह is from √ नह् to fasten or bind round)	निरीक्षक, ईक्षक observer
	निर्माणशाला, निर्माणो factory
	निलम्बन-बिन्दु point of suspension
नाभि focus	
नाभि-बिन्दु focal point	निलय-दन्तिका-ग्रामि rack and pinion screw
नाभीयन focussing	
नाभीयिन focussed	निशीर्षं inverted (निशीर्षं = नि- down + शीर्षं head, with head downwards)
निदाञ्च pendulum	

निस्तारित extracted	परिणामी गति resultant motion
नीच स्थिर बिन्दु lower fixed point	परिणामी बल resultant force
नीरजी chlorine	परिदृढ rigid
नीरजी जलीय chloride hydrate	परिदृढता-rigidity
न्यवकृष्ण dull black	परिदृढता मापांक rigidity modulus
न्युदहन convection (न्युदहन = नि - down + उद् up + वहन conveyance)	परिदृढ-प्रत्यास्थता मापांक rigidity modulus of elasticity
न्युब्ज concave	परिधि circumference (परिधि ancient word)
न्युब्ज परावर्तक concave reflector	परिपथ circuit
पटरी (Hindi) rail	परिभ्रमण rotation
पट्ट plate	परिभ्रमण-गति, rotational motion
पनचक्की (Hindi) water mill	परिमा volume
परमाणु प्रस्फोट atomic bomb	परिमा-गुणक volume coefficient
परमाणु-भार atomic weight	परिमाप perimeter
परमाण्विक-ऊष्मा नियम Dulong's and Petit's law (law of atomic heats)	परिमा-प्रत्यास्थता-गुणक coefficient of volume elasticity
परावर्तक reflector	परिवारण, परिवृत्ति surrounding
परावर्तन reflection (परावर्तन reflection is the return of light or sound waves from surfaces From परा + √वृत् to turn back, return)	परिशुद्ध accurate

पर्णशाद chlorophyll (पर्णशाद	पार्श्व-तल lateral surface
= पर्ण leaf + शाद green	पार्श्व-ग्रामि side screw
The chlorophyll is the	पिघा stopper
green colouring matter	पिनाल दाहन Bunsen burner
of plants; from Greek	(It is a kind of burner
<i>chloros</i> green + <i>phyllo</i>	consisting typically of
leaf)	a straight tube with
पलिष flask (ancient word)	small holes for entrance
पवनचक्की (Marathi and	of air at the bottom.
Hindi) wind mill	In पिनाल, पी stands,
पाणचक्की (Marathi)	for अपि as in पिघान, पिहित
water mill	पिनद्ध etc. It expresses
पात्री basin	uniting to, annexing.
पाद foot (पाद was used as	Cf. अपिमात्र having part
a measure in ancient	in, share in—घतपय
India It was either 12	ब्राह्मण, अपिकस that
or 15 angulas. 15	which contains the वक्ष
angulas are approx-	armpit i e the region
imately 11½")	of the armpit—ऋग्वेद.
पादक pedal	Similarly, अपिकर्ण the
पादप्राबल foot poundal	region of the ears ऋग्वेद,
पारद चुषोदम mercury suc-	अपिसर्वर literally con-
tion pump	connected with the night,
पारद निक्षेप mercury pen-	i e, being at the
dulum	beginning or end of the
पारद बाष्पमान mercury	night, early in the mor-
manometer	ning—ऋग्वेद, ऐतरेयब्राह्मण-

पुंज mass	प्रचक्र fly wheel (It is a
पुंज आणि भार, पुंज ओर भार mass and weight	heavy wheel प्रचक्र = प्र great + चक्र wheel)
पुनश्चान regelation (rege lation is the refreezing	प्रचूषण absorption
पुनश्चान of water, श्चान freezing)	प्रचूषण-शक्ति absorptive power
पूणकृष्ण perfectly black	प्रचूषित absorbed
पूर्णांक integer	प्रणोद impulse (प्रणोद is from प्र- + $\sqrt{\text{नुद}}$ to propel, push on drive
पूर्णांक-अपवत्य integral multiple	Impulse is the act of driving onward with sudden force)
प्रकाय-प्रत्यास्थता मापांक bulk modulus of elasticity	प्रणोदक propeller
प्रकाश ऊर्जा light energy	प्रतापमान pyrometer (It is an instrument for mea suring temperatures
प्रकेवल आर्क्लेद absolute humidity	esp those beyond the range of mercurial thermometers प्रतापमान = प्र- excessive high + ताप temperature + मान meter)
प्रकेवल तापधरणी absolute scale of temperature	
प्रकेवल शून्य absolute zero	
प्रसम्भ प्रवाह turbulent flow (cf शुम्भ agitated)	
प्रगतिकी kinematics (cf kinetics गतिकी)	प्रतिक्रिया reaction
प्रगतिकीय समीकार kinematic equations	प्रतिघटीवत anticlockwise
	प्रतिबध condition
	प्रतिरूपण representation

प्रतीप अनुपात proportion	inverse	प्रत्यास्य elastic [प्रत्यास्य is from प्रति-back + आ + स्था to stay (प्रत्यातिष्ठति); capable of recovering size and shape after deformation]
प्रतीपानुपाती proportional	inversely	
प्रत्यक्ष apparent प्रत्यक्ष परिवर्तन change	apparent	प्रत्यास्यता elasticity
प्रत्यक्ष मध्याह्न apparent noon		प्रत्यास्यता-मापांक Young's modulus of elasticity
प्रत्यक्ष विस्तरण expansion	apparent	प्रदोलन-गति oscillatory motion
प्रत्यक्ष विस्तार-गुणक coefficient of apparent expansion		प्रवाप्य steam (cf वाप्य vapour)
प्रत्यावल stress (the force per unit area called into play in an elastic body subjected to stretching force short for प्रत्यास्य वल् force)	प्रत्यावल elastic + वल्	प्रवाप्य-उद्यमान Joly's steam calorimeter प्रवाप्य कोठी, प्रवाप्य कोष्ठ steam jacket प्रवाप्य-जनित्र steam gene- rator
प्रत्यावल विकार-नियम Hooke's law (the law which holds practically for strains within the elastic limit, that the strain विकार is propor- tional to the stress प्रत्यावल producing it)		प्रवाप्य-पजर steam trap प्रवाप्य-भेदीयमान differential steam calorimeter प्रवाह fore arm (प्रवाह ancient word) प्रभव source (प्रभव ancient word)

प्रमाण fraction	प्रसीती प्रधि grooved rim
प्रमाण standard	( प्रसीती having प्रसीता
प्रमाण-तापमान standard thermometer	प्रसीता = प्र + सीता a groove प्रधि 'rim'-ancient word )
प्रमेय theorem (that which is to be established by प्रमाण or proof प्रमेय is in use in several languages)	प्रसृति diffusion
प्रयासबल effort ( In physics effort denotes a force, hence प्रयास-बल )	प्राकृतिक विज्ञान natural science
प्रवणित तट bevelled edge ( from प्रवण slope bevelled is sloping )	प्राणार चाप carbon arc
प्रविशित dissolved	प्राणार-द्विजारेय carbon dioxide
प्रवृत्त selective ( प्रवृत्त having selected )	प्राणार-द्विशुल्बेय carbon disulphide
प्रवेग velocity ( of वग speed )	प्राणारिक organic
वेगिकी dynamics	प्राणारिक रसायन organic chemistry ( that branch of chemistry which treats of the carbon प्राणार compounds )
प्रवेगिकीय रीति dynamical method	प्रागुल inch (प्रागुल = प्र-big + अगुल अगुल is an ancient measure slightly smaller than an inch Hence the prefix प्र )
प्रशीतक refrigerator	प्राबलि pound (see note on Weights and Measures in the Introduction)
प्रसारिता diffusivity	

प्राबल poundal ( प्राबल = वाष्पनाचा गुप्त उष्मा वाष्पन	
प्राबलि pound + बल	ची गुप्त ऊष्मा latent heat
force )	of vapourisation
प्रावेजक, त्वरक accelerator	वाष्प-निपीड vapour pressure
प्रासव तल spirit-level	वाष्पमान manometer
प्लवन-नियम law of	बाह्य अभिकर्तृत्व external
floatation	agency
फल, फलक vane	बाह्य कर्म external work
बल force	बाह्यतः externally
बलाचा विघटक, बल चा विघटक	विदुरेख graph ( a diagram
resolved part of a force	symbolizing a system
बल-त्रिकोण triangle of	of inter relations by
forces	spots बिन्दु, all dis-
बल-पारंप्यता transmissibi-	tistinguishable from
lity of a force	one another and
बल-विभ्रमिषा moment of a	some connected by
force	lines रेखा of the same
बल समान्तर-घुञ्ज नियम law	kind )
of parallelogram of	विन्दुरेख-पत्र graph-paper
forces	विभ्रमिषा moment (विभ्रमिषा
बलघटक force pump	is a desiderative
बलघुञ्ज polygon	formation from घुञ्ज्
वाष्प vapour	to turn round,
वाष्प-घनता vapour density	meaning tendency to
वाष्पन vapourisation	produce motion
	about ( point or axis )

बिम्ब disc	भूतम्ब matter (भूत from √भृ to exit. भूतम्ब is current in Hindi)
बुद्बुदांक boiling point	भूयति nitrogen
बुद्बुदावन bubbling	भूयिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान, भूयिष्ठ और अल्पिष्ठ तापमान maximum and mini- mum thermometer
भट्टी furnace	भूयिष्ठ वाष्पनिरोध maximum vapour pressure
भस्त्रा (cf Marathi भाता) bellows (भस्त्रा an ancient word)	भूराल (शिलारग in Marathi) liva (भू earth + राल)
भाग-चिह्न sign of division	भौतिकी physics (see note on भौतिकी in the Intro- duction)
भार, भार-बल weight (to denote that weight is a force, the word बल can also be added to भार)	भ्रमि screw
भार-तापमान weight thermometer	भ्रमि अन्तराल pitch of the screw
भार bearing (भार that which bears, from √भृ to bear. The suffix -भार signifies an agent. Cf भार doer, artisan from √ कृ to do)	भ्रमि उत्पाप screw jack भ्रमि-नह screw nut
भुजावन refraction (from √भृज् to bend. The arm is called भुजा because it bends at the elbow)	भ्राष्ट्र (Hindi भट्टी) furnace भ्र्वाकृष्टि-केन्द्र centre of gravity भ्र्वाकृष्टि-त्वरण acceleration due to gravity मधु honey



मधुरी glycerine	मान metre (see note on
मध्यक mean	Weights and Mea-
मध्यक अर्ह mean value	sures in the Intro-
मध्यक तापभेद mean	duction)
difference in tempera-	माप-कलश measuring jar
ture	माप-पट्टी measuring scale
मध्यक सार काण्डिका mean	मापक modulus (मापक is
solar second	clearer than modulus
मध्यक सौर दिन mean	which literally means
solar day	a small measure)
मध्यक स्थिति mean position	मिश्रण couple
मथन-दण्ड churning rod	मिश्रण बिभ्रमिषा moment of
मन्द सवाहक low conductor	a couple
मन्दाति argon (from Greek	मिश्रण-रोति method of
argos meaning inert	mixtures
मन्द, -आति stands for	मिश्रानु alloy (मिश्रानु = मिश्र +
वाति gas)	घानु a mixture of metals)
मसृणता (मूळमूळीतपणा in	मण्ड bob
Marathi) smoothness	मूद्र type
महत्ता magnitude	मूपल piston
महानु platinum (from	मूल अंतराल fundamental
महाधानु noble metal an	interval
ancient word -आनु in	मूल एकक fundamental
महानु is for धानु)	units
मात्रा magnitude	मूल राशि fundamental
मध्य average	quantity

मूल आयाम original length (मूल लांबी in Marathi and मूल लंबाई in Hindi)	राशि quantity रमण-तापमान clinica thermometer
यन्त्र machine	रूपक nickel
यन्त्राची कार्यनिष्पत्ति, यंत्र की कार्य- निष्पत्ति efficiency of a machine (efficiency is the ratio निष्पत्ति of useful work कार्य done by a machine to the energy supplied)	हलोताम्र manganin (Mn लोहक 12 p. c., copper ताम्र 84 p. c., nickel रूपक 4 p. c; हलोताम्र = रूपक + लोहक + ताम्र)
यानाति helium	रेखा-प्रवाह line flow
यांत्रिक लाभ mechanical advantage	रेखीय प्रत्यास्थता मापाक Young's modulus of elasticity
यांत्रिक समाहं mechanical equivalent	रेखीय श्रेणी linear scale
यांत्रिकी mechanics	रोध-तापमान resistance thermometer
योग sum	रोध-परिवर्तन change in resistance
रक्षक guards	रोध-बल force of resistance
रचना composition	रोधविकिरणमान bolometer (an instrument for measuring minute quantities of radiant heat by changes in resistance of a black- ened platinum strip exposed to radiations.
रजत silver	रोध-विकिरण-मान = रोध resistance + विकिरण radiation + मान meter)
रंध्र cavity, pore	
रंध्री porous	
रम्भ cylinder	
रश्मि ray	
रसायनिक उन्दमान chemical hygrometer	
रसायनिक ऊर्जा chemical energy	

लघु particle	वस्तुनिष्ठ (Marathi)
लवण salt	objective
लाक्षणिक characteristic	वातायन ventilator
लिखित graphite (fr. Greek <i>graphein</i> to write. It is used for pencils.	वातावम्यापन-पद्धति air conditioning system
लिखित fr. लिम् to write + -इज for खनिज mineral)	वाति-आशय gas reservoir
लोह-वलय iron ring	वाति-तापमान gas thermometer
लक (Hindi पट्टी) rail	वाति-नियामक gas regulator
लक्षणा-त्रिज्या radius of curvature	वातीचे तरलन, वातियो वा तरलन liquefaction of gases
लक नाडक curved pipette	वातीची संपीड्यता, वातियोची संपीड्यता compressibility of gases
लक्यायम steel	वाति-विस्तरण expansion of gases
लकस्पति-तल vegetable oil	वाति-समीकार gas equation
लकमा space (लक्या is an ancient word)	वाति-स्थिरक gas constant
लकर्तुल, लकर्तुञ्जकार circular	वापीडमान barometer ( वा = वायु air + पीड = निरोड pressure + मान meter, barometer is used for determining the pressure of the atmosphere)
लकलय ring	वापीडमान-वाचन-सोधन correction of barometer reading
लकलिमान्, लकलीयित corrugated (लकलीयित, लकलिमान् having folds or wrinkles लकलि)	
Corrugated literally means formed into folds)	

वायुरहित free from air	विजातीय unlike
वास्तविक ताप real temperature	विजातीय समान्तर बल unlike parallel force
विकिरण radiation	विद्युच्चाप electric arc
विकिरण-विभ्रम error due to radiation	विद्युज्जनित्र electric generator
विकिरण-शक्ति radiating power	विद्युत्-परिपथ electric circuit
विकिरण-शोधन radiation correction	विद्युत्-सवाहक electrical conductor
विकीर्ण radiated	विद्युद्-वाह electric current
विक्षेप, प्रक्षेप projection	विनिमय exchange
( <i>pro- + ject</i> throwing forward, प्र-forward + क्षेप throwing वि- is विशेष special)	विन्यास arrangement
विगोपित पारद-स्तम्भ शोधन exposed (mercury) stem correction	विरालेन्य toluene (toluene = tolu + benzene, obtained by distillation of coal बगार tar विराल)
विगोपित is from वि + गुप् to expose)	विरूपण deformation
विघटक resolved part (cf सघटक component)	विलयन solution
विचालक stirrer	विलयनाचा गुप्त ऊष्मा, विलयन की गुप्त ऊष्मा latent heat of solution
विचुम्बकन demagnetization (वि- de-)	विलायक solvent
	विलीन solute, dissolved
	विलीनवादि-हीन free from dissolved gas

विलेय soluble, solute	व्यूहाणु molecule
विलोमक्रमाने, विलोम-क्रमेण, विलोमत conversely	व्यूहाणु-भार molecular weight
विवर opening	अधोम ether
विश्राम-अवस्था state of rest	शक्ति power
विश्वव्यापी अम्यादृष्टि-नियम, law of universal gra- vitation	शंकु cone
विस्तरण expansion	शंकुवाकार conical, cone- shaped
विस्तार्य expansible	शंकुवाकार पात्र conical vessel
विस्थापन displacement	शतघ्नी gun (शतघ्नी 'which kills a hundred' ancient word)
वीक्ष lens (वि- विशेषार्थे + १ ईक्ष् to see)	शतिक श्रेणी centigrade scale
वेग speed	शतिमान centimeter (see note on Weights and Measures in the Intro- duction)
व्यवधान partition	शलाका rod
व्यवस्थापन adjustment	शाणचक्र grinding wheel (Hindi साण and Marathi महाण are from Sanskrit शाण)
व्यवस्थाप्य वापीहमान Fortin's barometer (has an adjustable cistern)	शुद्ध-निक्षि-पिषा stop-cock (निक्षि- वापन = वि- off + ष्टवापन cock + पिषा cover)
व्यापार-वायु trade winds	शिबि-पीह pinchcock
व्यास diameter	
व्युत्पन्न एकक derived unit	
व्युद्धवापन bumping (bump- ing is to give off vapour, often violently, व्युद्ध- evaporate)	

शि घा वा. (शक्तिमान-घान्य- काष्ठिका) C. G. S. (centimeter-gram- second)	समान railway train (स- + यान carriage, स- as a prefix here expresses conjunction; train is a connected line of carriages)
शीतन-वक्र cooling curve	संरूपण configuration
शीतनार्थ rate of cooling	सलागी cohesive (from स- + √लग् to adhere)
सुल्वारि-द्विजारेय sulphur dioxide	सलागी बल cohesive force
शून्यक-उदव vacuum pump	सवादी corresponding (सवादी is an ancient word)
शून्य-विभ्रम zero error	सवाहन conduction
शून्य-स्थिति zero position	सचन्द्रता concentration
शृगाल निवाप thistle funnel (शृगाल is short for शृगाल-कटक-पुष्प yellow thistle flower)	ससौचन contraction
शोधन correction	सक्रमण transit
श्यान-मिश्रण, श्यान मिश्र (free- zing mixture)	सक्षेत्र prism
श्यानोच्च freezing point	सख्या-गुणक numerical coefficient
थर्मर्ग (from Greek <i>ergon</i> work. It is the unit of energy) or work in the C. G. S. system थर्म is from √थम् to work)	सख्याव numerals सगामी concurrent (सगामी going together)
श्वेतोष्ण white hot	संगृहीत stored सग्रह-कोशा storage cell सग्रह-समूहा storage battery

सघटक component	सुधार framework (from
सघनन condensation	स- + धार from 'सृ' to
सघर्ष friction (स- together	hold together')
+ घर्ष from 'घृष्' to rub)	संधि junction
सघर्ष-गुणक coefficient of	समच्छिद्र uniform bore
friction	समतल plane surface
सघर्षहीन frictionless	समताप-परिमाणु निषेध नियम
सच्छिद्र porous	Boyle's law (the law
सजातीय समान्तर बल like	that when a gas is
parallel forces	subjected to variation
सत्य true	of pressure निषेध and
सत्य वापि प्रत्यक्ष विस्तारण, सत्य	kept at a constant
और प्रत्यक्ष विस्तारण true and	temperature समताप
apparent expansion	the product of the
सत्यता truth	pressure and volume
सत्य विस्तारण true expansion	परिमाणु is a constant
सत्य विस्तार गुणक coefficient	quantity )
of real expansion	समताप-परिवर्तन isothermal
सदिश गति vector quantity	change
(सदिश having a direc	समताप प्रत्यास्यता isothermal
tion vector is a	elasticity
complex entity repre	समताप वक्र isothermal curve
sentative of a directed	समताप-अवस्था, समताप-स्थिति
magnitude)	condition of equi
सतत continuous	librium
	समताप-निर्देशन compen

sated pendulum	समोप परिवर्तन	adiabatic
समसयुज भार equivalent weight	change	
समाक्ष coaxial	समोप विचुम्बकन	adiabatic demagnetisation
समाग homogeneous (consisting of similar parts अग)	सपरिवर्तन	modification
समाग uniform	सपरीक्षीय	experimental
समान्तर बल parallel forces	सपीडक	compressor
समातर बल-केन्द्र centre of parallel forces	सपीडित	compressed
समान्तर-श्रेढी arithmetic progression (a progression where elements progress by a constant difference अतर)	सपीडयता	compressibility
समायत square (figure) (सम + आयत, a rectangle having equal sides)	सरल तरलमान	simple hydrometer
समावृत enclosed	सविराम	intermittent
समूह गति mass motion	सहस्र-धान्य	kilo gram (see note on Weights and Measures in the Introduction)
समोप adiabatic (occurring without loss or gain of heat, सम equal + उप = ऊष्मा heat)	सहस्रमान	millimeter (see note on Weights and Measures in the Introduction)
	सहस्रोज	kilowatt
	साधारण उत्प्रावाच	simple exhaust-pump
	साधारण तुला	simple balance
	साधित्र	apparatus (साधित्र from साध् to accomplish + त्र The suffix -त्र indicates an apparatus or instrument)



स्वायित्व, स्थायिता stability	स्पर्शरेखीय tangential
स्वायी stable	स्पर्शरेखीय दिशा tangential direction
स्वावर stationary (स्वावर ancient word)	स्फट crystal
स्थितिक ऊर्जा potential energy	स्फटन-जल water of crystallisation
स्थित्यन्तर change of state	स्फटिक quartz
स्थिर-ताप अवस्था steady state of temperature	स्फटधातु aluminium
स्थिरतापी, स्थिर-ताप कुपी thermos bottle	स्फुलिंग spark (स्फुलिंग ancient word)
स्थिर निपोडोप्म साधित्र Regnault's apparatus (for specific heat ऊष्मा of a gas at constant pressure स्थिर निपीड)	स्वकन calibration (स्वकन = सु + कन)
स्थिर बिन्दु fixed point	स्वज clip (from √स्वज to embrace, to clasp. Cf. English clasp, meaning a clip)
स्थितिकी statics (स्थितिव static + -इकी in the sense of a science See note on भौतिकी in the Introduction)	स्वय-व्यवस्थापी self-adjusting
स्थितिकीय रीति statical method	हस्तक handle
स्थूल्य मापन measurement of thickness	हिम ice
	हिम उपमान ice calorimeter
	हिम द्रावांक melting point of ice
	हृष sensitive (from √हृष् to be excited)
	हृषता sensitivity

# आंग्ल-भारतीय शब्दावलि

( For the explanation of important words  
see the preceding glossary)

absolute humidity	प्रकेवल आर्द्रता	adiabatic demagnetisation	समाप विचुम्बकन
absolute scale of temperature	प्रकेवल ताप-श्रेणी	adjustment	व्यवस्थापन
absolute zero	प्रकेवल शून्य	air conditioning system	वातावस्थापन पद्धति
absorb	प्रचूपण	alcohol	सुपव
absorption	प्रचूपण	alcohol thermometer	सुपव तापमान
absorptive power	प्रचूपण शक्ति	allotropic forms	अपरावर्तिक रूप
acceleration	त्वरण	alloy	मिश्रानु
acceleration due to gravity	भ्रूवृष्टि-त्वरण	alternately	एकांतरतया
accelerator	प्रावेजन, त्वरक	aluminium	स्फुंधानु
accurate	परिसूद्ध	ampere	द्युवहि
acid	अम्ल	aneroid barometer	अनीर वापाढमान
adhesive	अभिलाषी	anticlockwise	प्रतिघटान, वामावन
adiabatic change	समाप परिवर्तन	apparatus	साधन

apparent	प्रत्यक्ष	bellows	भस्ना (cf Marathi भाता)
apparent change	प्रत्यक्ष	benzene	धूपेन्य
परिवर्तन		bevelled edge	प्रवर्णित तट
apparent expansion	प्रत्यक्ष	binomial theorem	द्विपद प्रमेय
विस्तरण		biological	जैविकीय
apparent noon	प्रत्यक्ष	bisect	दुभागणे (M.) द्विभाजन
मध्याह्न		block	इष्टका
area	क्षेत्रफल	blunt borer	कुठ छिद्रक (वायट छिद्रक in Marathi)
argon	मन्दाति	bob	मुण्ड
arithmetic progression		boiling point	बुद्बुदाक
समांतर श्रेणी		bolometer	रोधविकिरणमान
arrangement	विन्यास	Boyle's Law	समताप-परिमानिपीड नियम
aspirator	चूपित्र	brake	आरोध
atomic bomb	परमाणु	Bramah press	आम्भस पीड
प्रस्फोट		bridge	सेतु
atomic weight	परमाणु-भार	bubbling	बुद्बुदायन
automobile	आत्मवाहक	bulb	बद
आत्मवह		bulk modulus of elasticity	प्रकाय प्रत्यास्यता मापांक
average	माध्य	bumping	व्युद्वापन
axle	अक्षदण्ड	Bunsen burner	पिनाल दाहक
bad conductor	कुसवाहक	buoyancy	उत्प्लाविना
balance	तुला		
balance wheel	तुला-चक्र		
barometer	वापीडमान		
bat (H. बत्ता)			
bearing	भार		

burner दाहक	c g. s. system सि. घा का
calcium chloride चूर्णात् नूनीय	पद्धति
calibration अक्षोषन, स्वकन	change in resistance रोधपरिवर्तन
calorie उष्ण	change of state स्थित्यन्तर, अवस्था परिवर्तन
caloric fluid उष्ण-द्रव	characteristic लक्षणिक
calorimeter उष्ण-मान	chemical energy रसायनिक ऊर्जा
calorimetry उष्णमिति	chemical hygrometer रसायनिक उन्द्मान
capacity धारिता	chimney (धुराडें M.), धूममार्ग
capillarity केशालत्व	chlorine नीरजी
capillary tube केशाल	chlorine hydrate (Cl <sub>2</sub> , 8 H <sub>2</sub> O) नीरजी जलीय (नी <sub>२</sub> , ८ उ <sub>२</sub> ज)
carbon arc प्राणार-चाप	chlorophyl पर्णसाद
carbon dioxide प्राणार-द्विजायेय	chord जीवा
carbon disulphide प्राणार-द्विसुल्फेय	churning rod मन्थन दण्ड
cathetometer उत्सेधमान	circumference परिधि
cavity रन्ध्र	circuit परिधि, परिपथ
centigrade scale सतिक्-श्रेणी	circular वर्तुलाकार, वर्तुल
centimeter सतिमान	clinical thermometer दृग्-तापमान
centre of gravity भ्र्वाहृष्टि-केन्द्र	clip स्वज
centre of parallel forces समानरेखल-केन्द्र	
centre screw केन्द्र म्मि	

clockwise घटीवन्	compensated pendulum
co-axial समाक्ष	समतोलित निरीर
coefficient of apparent expansion प्रत्यक्ष विस्तार-गुणक	complex जटिल
coefficient of cubical expansion घन-विस्तार-गुणक	component सघटक
coefficient of friction सघर्ष-गुणक	composition रचना
coefficient of linear expansion अनुरेखविस्तार-गुणक	compressed सपीडित
coefficient of real expansion सत्य विस्तार गुणक	compressibility सपीड्यता (सपीड्यता)
coefficient of superficial expansion तल-विस्तार-गुणक	compressibility of gases वातियो की सपीड्यता (H)
coefficient of volume elasticity परिमा प्रत्यास्थता गुणक	compressor सपीडक
cohesive सलागी	concave न्युब्ज
cohesive force सलागी बल	concave reflector न्युब्ज परावर्तक
column स्तम्भ	concentration सकेन्द्रता
comparator उपमात्र	concurrent सगामी
comparator method उपमात्र रीति	condensation सघनन
	condition प्रतिबध, अवस्था, स्थिति
	condition of equilibrium समतोल अवस्था, समताल स्थिति
	conduction सवाहन
	conduction of heat ऊष्म्य, के सवाहन, ऊष्मा का सवाहन
	cone शत्रु
	cone shaped शङ्खवाकार

configuration संरूपण, अनुन्यास	correction of barometer reading वापीडमान शोधन
conical शक्वाकार	corresponding मवारी
conical vessel शक्वाकार पात्र	corrugated बलिमान, बलौमिन
consecutive अनुगामी	couple मिश्रण
conservation of energy ऊर्जा-स्थिरता	crank-handle कूर्पर हस्तक
continuous सतत	critical pressure काष्ठा निपीड
contraction सकोचन	critical temperature काष्ठानाप
convection न्युद्धहन	critical volume काष्ठा परिमा
conversely विलोमत	cross wire अनुप्रस्थ तन्तु
conversely विलोमतमेष, विश्रोमक्रमाने (Marathi)	crystal स्फट
convex उदुब्ज	cubic centimeter घन
convex lens उदुब्ज लीला शनिमान	curved pipette बक्रनाडक
cooling curve शीतन वक्र	in cylinder रम्भ
copper ताम्र (ताम्र in Marathi)	decimal system दशमिक पद्धति
cork त्वशा	deformation विस्तरण
correction शोधन	density घनता
correction for errors of a thermometer ताप	density bottle घनता बूती
मानाच्या विभ्रमाचे शोधन (Marathi), तापमान के	depth गभीरता
विभ्रमों का शोधन (Hindi)	derived unit व्युत्पन्न एकक
	dew अवस्यय

dew point अवश्यायांक	effort	यास बल ( in physics effort denotes force hence the word प्रयासबल )
diameter व्यास		
differential steam calorimeter प्रवाण्य भेदोपमान		
differential thermometer तापभेदमान	elastic	प्रत्यास्थ
diffusion प्रसृति	elasticity	प्रत्यास्थता
diffusivity प्रसारिता	electrical conductor	विद्युत् संचाहक
disc डिस्क	electric arc	विद्युच्छाप
displacement विस्थापन	electric circuit	विद्युत् परिपथ
dissolved विलीन, प्रविलीन	electric current	विद्युद् वाह
distillation आसवन	electric generator	विद्युज्जनित्र
division भाग	elimination	निरसन
dull black गूढ कृष्ण	ellipsoidal	ऊत्तेन्द्रज
Dulong and Petit's law of atomic heats परमाण्विक ऊष्मा नियम	emission	उद्गिरण
dynamical method प्रवेगिकीय रीति	emissive power	उद्गिरण शक्ति
dynamics प्रवेगिकी	enclosed	समावृत्त
dyne षाबल	energy	ऊर्जा
efficiency (of a machine) कार्य-निष्पत्ति	energy of oscillation	प्रदोलन ऊर्जा
efficiency of a machine यथाची कार्य-निष्पत्ति, यत्र की कार्य-निष्पत्ति	engine	यंत्र
	engineering	अभियान्त्रिकी
	equivalent weight	समस्युज भार

error due to radiation	Fahrenheit scale
विकिरण विभ्रम	द्वारिशा द
ether व्योम	श्रेणी
ether दसु	foot पाद
ether thermoscope	film झिल्ली (H)
दसुतापेश	final velocity अंतिम प्रवेग
ethylene दसुलेन्य	fire engine अग्निशक्ति
evaporation उद्वापन	fixed point स्थिर बिन्दु
exact science तथ्य-विज्ञान	flask पत्रिघ
exchange विनिमय	fly wheel प्रचक्र
exhaust pump उस्त्रावाच	focal point नाभि बिन्दु
expansible विस्तार्य	focus नाभि
expansion विस्तरण	focussed नाभीयत
experimental (adj), मपरीक्ष्य,	focussing नाभीयन
सपरीक्षीय	foot pound १ पाद प्राबल
explosion उत्स्फोट	force बल
explosive उत्स्फोटि	force of resistance
exposed stem correction	रोध-बल
विगणित (पारद) मापन	force pump बलोदच
external agency बाह्य	fore arm प्रबाहु
अभिकन्दुष	formula सूत्र
externally बाह्य	Fortin's bromometer
external work बाह्यकर्म	व्यवस्थाप्य वापोटमान
extracted निष्कृति	fraction प्रमाण
factory निर्माण, निर्माणशाला	frame work सधार
	free from air वायुरहित
	free from dissolved gas
	विलीन-वाति हीन



freezing	mixture	good conductor	मुसवाहक
श्यान-मिश्र		graduated	अकित
freezing point	श्यानांक	gram	धान्य
friction	सघर्ष	gram molecule	धान्य अणु
frictionless	सघर्ष हीन	graph	विन्दुरेख
fuel	इन्धन	graphite	लिखित
fulcrum	स्कम्भा	graph paper	विन्दुरेख पत्र
fundamental interval		gravitational constant	अभ्याकृष्टि स्थिरांक
मूल अंतराल		gravitational force	अभ्याकृष्टि बल
fundamental quantity		grid-iron	pendulum
मूलराशि			अयोवह्वर निदोल
fundamental units	मूल	grinding wheel	शाण चक्र
एकक		grooved rim	प्रसोवी-प्रधि
fungus	कवक	guards	रक्षक
furnace	भाष्ट्र ( भट्टी in Marathi and Hindi)	gun	शतघ्नो
fused silica	द्रवित सैकजा	hair-spring	कुतल-स्वन्द
galvanometer	सुवाहमान	handle	हस्तक
gas constant	वाति स्थिरांक	Hare's apparatus	अधावाहु
gas equation	वाति-समीकार		नाल (अधावाहु नली in Marathi)
gas regulator	वाति नियामक	heat	ऊष्मा
gas reservoir	वाति आशय	heat energy	ऊष्मोर्जा
gas thermometer	वाति	helium	यानाति
तापमान		hollow	सुपिर
glycerine	मधुरी		
gold	सुवर्ण		

homogeneous	समांग	initial	आद्य
honey	मधु	initial velocity	आद्य प्रवेग
Hooke's law	प्रत्याबल-विकार नियम	instantaneous	तात्कालिक
horizontal	क्षैतिज	instantaneous velocity	तात्कालिक प्रवेग
horse-power	अश्व-शक्ति	instrument	उपकरण
hot-bath	तापन	integral	पूर्णांक
hot water bath	उष्ण जलतापन	integral multiple	पूर्णाङ्क अपवत्य
hydrogen	उदजन	intermittent	सदिराम
hydrometer	तरलमान	intermolecular force	अंतरा-व्युहाण्विक-बल
hydrostatic method	तरलस्थितिकीय रीति	internal force	आंतरबल
hydrostatics	तरलस्थैतिकी	internal latent heat	आंतर गुप्त उष्मा
hygrometer	उदमान	internally	अंतरत
hygrometry	उदमिति	interval	अन्तराल
hypothesis	उपस्थापना	interval of time	कालान्तराल
ice calorimeter	हिम उपमान	invar	अचलातु
impulse	प्रणोद	inversely proportional	प्रतीपानुपाती
impurity	अशुद्धि	inverse proportion	प्रतीप अनुपात
inch	प्रागुल	inverted	निर्णीप
incident	आघाती	iridium	घनातु
inclined plane	अभिन्नत समतल	iron	अयस
index	देखना		
inertia	जड़ता		

iron ring लोह बलय	kinetic theory of matter
isothermal change समताप परिवर्तन	द्रव्याचा गति-सिद्धान्त, द्रव्यका गति-सिद्धान्त
isothermal curve समताप वक्र	knife-edge क्षुरी-धारा
isothermal elasticity समताप प्रत्यास्थता	lactometer दुग्धमान
isotropic साबत्तिक	latent heat गुप्त ऊष्मा
jaw जम्भ	latent heat of fusion
jena glass अनल काच	द्रवणाचा गुप्त ऊष्मा, द्रवण की गुप्त ऊष्मा
jet क्षिप	latent heat of solution
Joly's steam calorimeter प्रवाप्य उपमान	विलयनाचा गुप्त ऊष्मा, विलयन की गुप्त ऊष्मा
joule कोटिश्रम	latent heat of vaporisation वाष्पनाचा गुप्त ऊष्मा, वाष्पन की गुप्त ऊष्मा
Joule Thomson effect निपीड-मोच-शीतन प्रभाव	lateral surface पार्श्व-तल
junction संधि	latitude अक्षांश
kilogram सहस्र-धान्य	lava भूराल (शिलारस in Marathi)
kilowatt सहस्रौज	lavatory धावनी (शौचकूप in Marathi)
kinematic equations प्रगतिकीय समीकार	law of atomic heats परमाणुय ऊष्मा नियम
kinematics प्रगतिकी	law of conservation of matter द्रव्य स्थिरता-नियम
kinetic energy गतिक ऊर्जा अथवा गति-ऊर्जा	law of floatation प्लवन नियम
kinetic theory गति-सिद्धान्त	

law of parallelogram of forces समान्तर भुज नियम	limiting velocity or critical velocity सीमा प्रवेग
law of partial pressures आशिव निषोढ नियम	linear expansion अनुरेख विस्तरण
law of universal gravitation विश्वव्यापी बभ्याकृष्टि नियम	linear scale रेखीय श्रेणी
layer स्तर	linear strain & longitudinal strain अन्वायाम विकार
lead सीस (H. सीसा, M. शिस)	line flow रेखा प्रवाह
least count अल्पिष्ठ-माप	liquid तरल
leather bag चर्म थून	liquid ammonia तरल तिक्ताति
length आयाम	liquefaction तरलन
lens लीस	liquefaction of gases वातौधि तरलन, वातियों का तरलन
differential thermometer ताप भेदमान	low conducting कुसवाही
lever उद्याम	low conductor मन्द सवाहक
lift उदाहन	lower fixed point नीच स्थिर बिन्दु,
lifting उदाहन	अवच स्थिर बिन्दु
lift-pump उदाही उदच	lubricant उपस्नेहन-द्रव्य
light energy प्रकाश-ऊर्जा	lubrication उपस्नेहन
like parallel forces समजातीय समान्तर बल	machine यंत्र
limiting friction सीमान्त मसपं, सीमान्त मसपं बल	manganin मनीतान्
limiting value सीमाहर्त	

magnitude मात्रा, महत्ता	mean solar second मध्यक सौर-कण्टिका
manometer वाष्पमान	mean value मध्यक अर्ही
mass पुंज	measurement of thickness स्थान्य मापन
mass and weight पुंज आणि भार, पुंज और भार	measuring jar माप-कलश
mass motion समूह गति	measuring scale माप-पट्टी
matter भूतद्रव्य, द्रव्य	mechanical advantage यान्त्रिक लाभ
maximum and minimum thermometer भूयिष्ठ आणि अल्पिष्ठ तापमान, भूयिष्ठ और अल्पिष्ठ तापमान	mechanical equivalent यान्त्रिक समाहं
maximum vapour pressure भूयिष्ठ वाष्प-निरोध	mechanical equivalent of heat ऊर्जेचा यांत्रिक समाहं, ऊर्जा का यान्त्रिक समाहं
magnet चुम्बक	mechanics यान्त्रिकी
magnetic चुम्बकीय	melting द्रवण
Mcleod gauge अल्प निरोधमान	melting ice द्रवद् हिम
mean मध्यक	melting point द्रवाक
mean difference in temperature मध्यक तापभेद	melting point of ice हिमद्रवाक
mean position मध्यक स्थिति	membrane कला
mean solar day मध्यक-सौरदिन	mercury manometer पारद वाष्पमान
	mercury pendulum पारद निदोल

mercury suction pump	पारद चूषोदक	molecule	व्यूहाणु
meridian	ध्रुव वृत्त	moment	विभ्रमिया
metal box	धातु मञ्जुषा	moment of a couple	मिश्रण-विभ्रमिया
meteorology	घनवातिकी	moment of a force	बल-विभ्रमिया
meteorology department	घनवातिकी विभाग	momentum	गमना
metre	मान	monatomic	एकपरमाण्विक
method of mixture	मिश्रण-रीति	monatomic gas	एकपरमाण्विक वाति
micrometer screw	अणुमान भ्रमि	motion	गति
micrometer-screw gauge	अणुमान-भ्रम्यामान	moveable screw	चलभ्रमि
microscope	अणुविक्ष	multiple	अपवर्त्य
mile	श्रोतक	natural science	प्राकृतिक विज्ञान
millimeter	सहस्रिमान	needle valve	सूची-कपाट
minute	कला	negative	ऋण
mm. (abbreviation of millimeter)	सिमा (सहस्रिमान)	Nicholson's hydrometer	अचल निमज्जन तरलमान
mobile	चलित्णु	nickel	रुक्
modification	सम्परिवर्तन	nitrogen	भूयानि
moist	आर्द्र	non-conducting	असञ्वाही
molecular weight	व्यूहाणु-भार, व्यूहाण्विक भार	normal atmospheric pressure	ऋजु वायुमण्डलीय निपीड
		normal boiling point	ऋजु बुद्बुदाक

normal temperature and pressure	नृज-ताप-निपीड	particle	लव
N. T. P.	नृ ता नि	partition	व्यवधान
numerals	संख्याक	pedal	पादक
numerical	संख्या गुणक	pendulum	निरोल
coefficient	संख्या गुणक	perfect black	पूर्ण कृष्ण
nut (nut of a screw)	नह	perfect gas, ideal gas	आदर्श वाति
objective	वस्तुनिष्ठ	perimeter	परिमाण
observer	ईक्षक, निरोक्षक	periodic time	आवर्त-काल
Ohm	धुरोध	phenomena	घटना
oil bath	तैलतापन	photographer's hypo	क्षार शुक्तिवत
opening	द्विवर	physics	भौतिकी
organic	प्राकारिक	pinch-cock	शिखि-पीड
original length	मूल आयाम	piston	मुषल
(मूल लांबी Marathi)		pitch (of screw)	अन्तराल
oscillatory motion	प्रदोलन	place of industry	उद्योग स्थान
गति		plane surface	समतल
osmosis	आसृति	plastic	अभिघट्य
osmotic pressure	आसृति-निपीड	plasticity	अभिघटिति
oxygen	जारक	plate	पट्ट
parallel forces	समांतर बल	platinum	महानु
partial distillation	आसिक	pointer	देष्टा
आसवन		point of suspension	निलम्बन बिन्दु
partially evacuated	असत-शून्यकित		

polygon बहुभुज	rack and pinion screw निलय-दन्तिका ग्रमि
porous रन्धी, सलिल	radial अरोध
positive धन	radiated विकीर्ण
potential energy स्थितिज ऊर्जा, स्थिति-ऊर्जा	radiating power विकिरण शक्ति
pound प्राजलि	radiation विकिरण
poundal प्राइल	radiation correction विकिरण शोधन
powder धूण	radius of curvature वक्रता त्रिज्या
power शक्ति	rails बराक (पटरिया in Hindi)
pressure निपीड	railway train सयान (आगगाडी in Marathi)
pressure coefficient निपीड-गुणक	range of temperature तापक्षेत्र
pressure guage निपीडामान	rate अर्घ
principle of buoyancy उत्थायिता-नियम	rate of cooling शीतनार्घ
prism सभेक	ray रदिम
projection विशेष	reaction प्रतिक्रिया
propagation गमन	Reaumur scale अन्तीतिक श्रेणी
propeller प्रणोदक	rectilinear ऋजुरेखीय
proportional आनुपातिक	reflection परावर्तन
pulley आकृषि	reflector परावर्तक
pump उदच	refraction भुजायन
pyrometer प्रतापमान	refrigerator प्रशीतक
quantitative इयत्तात्मक	
quantity राशि	
quartz स्फटिक	



regulation पुनः श्यान	ring बलय
Regnault's apparatus स्थिर निपीडोष्म-साधित्र	rod शलाका
relative humidity सापेक्ष आर्द्रता	rotation परिभ्रमण
relativity सापेक्षता	rotational motion परिभ्रमण-गति
relativity theory सापेक्षता सिद्धान्त	rubber घृषि
representation प्रतिरूपण	rubber ball घृषि-बन्दुक (घृषीचा बेंडू in Marathi)
research अन्वेषण	rubber cork घृषित्वक्षा
reservoir जलाशय	safety lamp अभयदीप
resistance thermomēter रोध-तापमान	salt लवण
resolved part विघटक	saturated अनुविद्ध
resolved part of a force बलाचा विघटक, बल का विघटक	scalar quantity आदिश राशि
resultant force परिणामी बल	scale of temperature ताप-श्रेणी
resultant motion परिणामी गति	scissors कर्तरी (कात्री in Marathi)
rigid परिदृढ	screened आवृत
rigid body परिदृढ वस्तु	screw भ्रमि
rigidity modulus परिदृढता-मापांक	screw jack भ्रमि उत्पाप
rigidity modulus of elasticity प्रत्यास्थता-मापांक	screw nut भ्रमि नह
	second काष्ठिका
	secular rise of zero दीर्घ कालीन घन शून्य विभ्रम
	selective प्रवृत्त्य
	self-adjusting स्वयं-व्यवस्थापी

semipermeable अर्धातिवेध्य	solidification सान्दीकरण,
semipermeable mem brane अर्धातिवेध्यकला	सान्दीभवन
sensitive हृष	solute विलीन, विलेय
sensitivity हृषना	solution विलयन
sheet स्तार	solvent विलायक
side screw पादने-भ्रमि	source प्रभव
sign of division भागचिन्ह	source of heat ऊष्माचा प्रभव, ऊष्मा वा प्रभव
silica सैकजा	space वरिमा
silver रजत	sparks स्फुलिंग
simple balance साधारण तुला (साधी तुला in Marathi)	specific gravity आपेक्षिक भार
simple exhaust pump साधारण उत्स्वावाच (साधा उत्स्वावाच in Marathi)	specific gravity bottle आपेक्षिक-घनता-कूपी
simple Hydrometer सरल तरलमान	specific heat आपेक्षिक ऊष्मा
sinker निमज्जक	speed वेग
smoothness मसृणता (गुळ गुळीतपणा in Marathi)	sphere गोळ
sodium chloride क्षारानु नीरेय	spheroidal state गोलाभोय स्थिति
solar day सौर दिन	spherometer गोलत्वमान
solar noon सौर मध्यान्ह	spiral कुतल
solid सान्द्र	spirit level प्राप्तव तर
solid body सान्द्र वस्तु	spoke अर
	spring स्कन्द
	spring balance स्कन्द तुला
	square समायत

squaring द्विघातन	stirrer विचालक
stable स्थायी	stop cock शिखि-पिघा
stability स्थायित्व, स्थायिता	stopper पिघा
standard प्रमाण	storage battery मग्रह ममूहा
standard gas thermo-	storage cell सग्रह-कोशा
meter प्रमाण-वाति-तापमान	stored सगृहीत
standard meter प्रमाण मान	stress प्रत्याबल
standard pressure प्रमाण	stroke आघात
निपीड	subjective आरूपनिष्ट
standard thermometer	successive आनुक्रमिक
प्रमाण-तापमान	suction pump चूपोदक
state of rest विधाम अवस्था	sulphur dioxide शुल्वारि
statical method स्थैतिकीय	डिजारेय
रीति	sum योग
statics स्थैतिकी	super cooling अधिशोतन
stationary स्थावर	super-heating अधितापन
steady state of temp-	surface tension तल आवृत्ति
erature स्थिर-ताप अवस्था	surroundings परिवृत्ति,
steam generator प्रवाष्प	परिवारण
जनित	syphon निनाल
steam jacket प्रवाष्प कोष्ठ	tangential स्पर्शरेखीय
(प्रवाष्प कोठी in Marathi)	tangential direction स्पर्श-
steam trap प्रवाष्प पजर	रेखीय दिशा
steel ब्रजामम	telescope दूरेश
steering wheel अरिश् चक्र	temperature ताप
stem स्तम्भ	temperature gradient
	ताप प्रवणक

temperature of liquefac- tion तरलन-ताप	toluene विरालेन्य
temporary fall of zero अल्पकालीन शून्य शून्य-विभ्रम	Torriceilian vacuum ऊर्ध्व शून्यक
tensile आतन्य	trade-winds व्यापार-वायु (व्यापारोपयोगी वारे in Marathi)
test tube परीक्षण-नाल, (परिक्षण नळी in Marathi)	transit सक्रमण
theory of heat exchanges ऊष्मा-विनिमय सिद्धान्त	translational motion स्यानेतरण गति
thermal capacity तापीय धारिता	transmissibility पारेष्यता
thermal conductivity ऊष्मा संचालिता	transmissibility of a force बल-पारेष्यता
thermo-couple ताप-मिषुन	transmissibility of pressure निपीड-पारेष्यता
thermo-dynamics ताप- प्रवेगिकी	triangle of forces बल- त्रिकोण
thermometer तापमान	trigonometry त्रिकोणमिति
thermometry तापमिति	tripod त्रिपाद
thermopile तापचिन्नि	trough द्रोणी
thermos bottle स्थिर-तापी	true सत्य
thermostat तापस्थापू	true and apparent expansion सत्य आणि प्रत्यक्ष विस्तरण, सत्य और प्रत्यक्ष विस्तरण
thistle funnel शृगाल-निवाप	true expansion सत्य विस्तरण
thread सूत्र	
three-way-cock त्रिमार्ग- शिवी	
time काल	

true temperature वास्तविक ताप	vapour वाष्प
turbulent flow प्रक्षुब्ध प्रवाह	vapour density वाष्प घनता
type मूद्र	vapourisation वाष्पन
unbalanced अतुलित	vapour pressure वाष्प निपीड
uncreatable अक्षुज्य	vapour pressure of water पाण्याच्या वाष्पाचे निपीड, जल का वाष्प निपीड
uniform समांग	variable velocity चल प्रवेग
uniform bore समछिद्र	variable state चल अवस्था
uniform velocity एकरूप प्रवेग	vector quantity सदिग राशि
unit एकक	vegetable oil वनस्पति तेल
unlike विजातीय	velocity प्रवेग
unlike parallel force विजातीय समांतर बल	ventilator वातायन
unsaturated अननुविद्ध	vernier caliper अनुश्रेणी ध्यामनि
unstable state अस्थिर स्थिति	vernier constant अनुश्रेणी स्थिरांक
upper fixed point उच्च स्थिर बिंदु	vernier scale अनुश्रेणी
U - tube ऊर्ध्ववाहू-नाल (ऊर्ध्ववाहू नली in Marathi)	vertical उदग्र
U-tube method ऊर्ध्ववाहू नलीची रीत, ऊर्ध्ववाहू नाल रीति	vertically upwards उदग्रामुक्त
vacuum pump गून्या उदक	vertical scale उदग्र श्रेणी
valve कपाट	vertical U tube उदग्र उर्ध्ववाहू नली, उदग्र उर्ध्व-वाहू नाल
vane पल्ल पल	vibration आवरण

viscosity आलम्बत्व	wet and dry bulb
viscous आलम्ब	thermometer आर्द्र आणि
volume परिमा	शुष्क बन्द तापमान, आर्द्र और
volume coefficient परिमा	शुष्क बन्द तापमान
गुणक	wheel चक्र
washing soda घावनक्षार	wheel and axle चक्र आणि
water equivalent जल-समाह	अक्षदण्ड, चक्र और अक्षदण्ड
watermill पाणचक्की	white hot द्येनोष्ण
(Marathi), पनचक्की	wind mill पवन चक्की
(Hindi)	work कर्म, कार्य
water of crystallization	work and power कर्म आणि
स्फटन जल	शक्ति, कर्म और शक्ति
water tight जलाप्रवेश	Young's modulus of
water trap जल-पञ्जर	elasticity प्रत्यास्थता-
water vapour जलवाष्प	मापाक, रेखीय प्रत्यास्थता
watt बोन	मापाक
wave length तरंगमाप	zero error शून्य विग्रम
weight भार	zero position शून्य स्थिति
weight thermometer भार-	zinc कुप्यानु (commonly
तापमान	जम्न in Marathi and
	जस्ता in Hindi)

# शुद्धिपत्रक



## (भाषा विषयक)

पृष्ठसंख्या ओळ		अशुद्ध	शुद्ध
पृ. ४	ओळ ५	घृषवृत्तावरून	धृषवृत्तावरून
पृ. १९	ओळ १	आवेजकाने	प्रावेजकाने
पृ. २९	ओळ २४	निक्षेप	विक्षेप
पृ. ३१	ओळ १४	यत्र	गत्र
पृ. ३५	ओळ २	ऊष्मोजा	ऊष्मोजा
पृ. ८७	ओळ १५	transmissibility ...	transmission
पृ. ८९	ओळ १४	पीढन यत्रात	आम्भस् पीढ यत्रात
पृ. १११	ओळ १५	प्रांवन	स्ववन
पृ. ११५	ओळ ७	सपीडता	सपीडघना
पृ. १२१	ओळ १७	चुपाच	चूपोदच
पृ. १२१	ओळ २३	पारद चुपांचाने	पारद चूपोदचाने
पृ. १२२	ओळ २०	पारद चुपांचाने	पारद चूपोदचाने
पृ. १२२	ओळ २२	Macleod's	Macleod's
-		guage	gauge
पृ. १२३	ओळ ४	समन्टिड	समन्टिड

			अरुद्ध	गुद्ध
पृ. १२९	ओळ	२२	आरोग्य	अरीय
पृ. १३९	ओळ	१५	manganese	manganin
पृ. १५८	ओळ	२०	सन्दिद्र	सछिद्र
पृ. १६१	ओळ	१	जिवाणूचा	क्वक्वाचा
पृ. १६५	ओळ	११	(water vapour)	(steam)
पृ. १७३	ओळ	१५	ऋण तापमान	रुण तापमान
पृ. १७५	ओळ	१८	विद्युत् वाहकाचे	विद्युत्वाहकाचे
पृ. १८२	ओळ	९	संज्ञता	संज्ञा
पृ. २२९	ओळ	४-५	निमार्ग-पिघेने	निमार्ग-निघेने
पृ. २६३	ओळ	११	लिखारमाचा	लिखिजाचा
पृ. २८०	ओळ	९	धार शुल्वित	धार शुल्वित
" "	ओळ	११	स्फट जलात	स्फटन जलात
पृ. २८७	ओळ	१	Jolly's	Joly's
पृ. २८९	ओळ	१९	"	"
पृ. २९५	ओळ	२०	दधुवाण्याची	दधुवाण्याची
पृ. २९९	आकृति	१२-३	धारदारग	धारदारग
पृ. ३१७	ओळ	२३	(vacuum pump)	(suction pump)
प्रकरण	१३	व्यान	प्रवाण्य	जलवाण्य
पृ. ३३५	ओळ	३	आर्द्र आणि शुष्क तापमान	आर्द्र आणि शुष्क कन्द तापमान
पृ. ३३६	ओळ	१४	आर्द्रवायूचा पुञ निश्चयन	आर्द्रवायूचे पुञनिश्चयन
पृ. ३४-	ओळ	१	वात्यावस्थापन	वातावस्थापन
पृ. ३५३	ओळ	१७	विद्युत्जन	विद्युत्जनित



		अशुद्ध अणु-	शुद्ध परमाणु-
पृ. ३५४ ओळ	६		
पृ. ३७० ओळ	१	(extent and configuration)	(extent and direction)
पृ. ३७५ ओळ	१	प्रस्फोटक	उत्स्फोटि
पृ. ३९६ ओळ	१७	कल्पना	उपकल्पना
पृ. ३९९ ओळ	२१	दीप्तोष्ण	इवेतोष्ण
पृ. ४०९ ओळ	२०	विनियम	विनिमय
पृ. ४११ ओळ	२	विनियमाची	विनिमयाची
पृ. ४१२ ओळ	१६, १८, १९, २०	माध्य	मध्यक



# शुद्धिपत्रक



(गणित विषयक)

पृ. २०३ ओळ १२

अशुद्ध

$$वस = \frac{[पा. (१ + क. त) - पा.]}{पा. त}$$

शुद्ध

$$वस = \frac{[पा (१ + क. त) - पा.]}{पा. त}$$

पृ. २१६ ओळ १

अशुद्ध

$$[स वप्र (त_२ - त)]$$

शुद्ध

$$[स वप्र (त_२ - त_१)]$$

पृ. २२६ ओळ ६

अशुद्ध

अशुद्ध

(त<sub>१</sub>)

शुद्ध

(त<sub>२</sub>)

पृ. २४० ओळ १०

अशुद्ध

$$\frac{\text{ना,०० - ना०}}{\text{त,०० - ००}}$$

शुद्ध

$$\frac{\text{ना,०० - ना०}}{१००० - ००}$$

पृ. ३५२ ओळ १९

अशुद्ध

स × २ × प्या × त्र (म-म, ) × मू

शुद्ध

स × २ × प्यत × त्र (तु-तु, ) × मू

---

 ह्या पुस्तकाची (१) ४३, ४४, ४५...५०

(२) १ ते ४२१ .

(३) १\* ते ५७\* ही पाने

 श्री. वि ना वाडेगावकर, बी. एस्सी. ह्यानी आपल्या  
 उद्यम कमिश्नियल प्रेस, घर्मपेठ नागपूर, मध्ये छापली.